



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Landschaftsarchitektur

Fachgebiet erneuerbare Energien

Prof. Dr. Clements Fuchs

Bachelor-Studienarbeit

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2009-0217-7

Die Zeit nach dem Öl

Mögliche Kraftstoffquellen für die Landwirtschaft der Zukunft

von

Sebastian Arning

September 2009

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	3
1.1	PROBLEMSTELLUNG	3
1.2	ZIELSETZUNG	3
1.3	VORGEHENSWEISE.....	4
2	ENTWICKLUNG DER LANDWIRTSCHAFT	5
3	MÖGLICHE KRAFTSTOFFARTEN	6
3.1	BIOETHANOL	8
3.1.1	<i>Zuckerhaltige Rohstoffe.....</i>	<i>9</i>
3.1.2	<i>Stärkehaltige Rohstoffe.....</i>	<i>10</i>
3.1.3	<i>Lignozellulosehaltige Rohstoffe.....</i>	<i>13</i>
3.2	BIOMETHANOL	14
3.3	PFLANZENÖL	16
3.4	BIOMASSE TO LIQUID (BTL) KRAFTSTOFFE.....	19
3.5	ELEKTROANTRIEB.....	21
3.6	WASSERSTOFF	22
3.7	BIODIESEL	24
4	KOSTENBETRACHTUNG	29
5	MENGENBETRACHTUNG.....	32
6	KONFLIKTPOTENZIAL ZWISCHEN DER KRAFTSTOFFPRODUKTION UND DER WELTERNÄHRUNG.....	36
7	AKTUELLE TRAKTOREN MIT ALTERNATIVEN ANTRIEBEN	38
8	ZUSAMMENFASSUNG.....	40
9	LITERATURVERZEICHNIS	41

1 *Einleitung*

1.1 *Problemstellung*

„Die anhaltende Sorge um das weltweite Ölangebot und der Konflikt um das iranische Atomprogramm habe den Ölpreis am Freitag auf ein Rekordhoch von über 147 Dollar getrieben“ (s.a. http://www.nzz.ch/nachrichten/medien/oelpreis_ueberspringt_147_dollar_1.781772.html). Solche Nachrichten werden in Zukunft wohl vermehrt auftreten, da die maximale Ölfördermenge gerade ihren Höhepunkt erreicht hat. Eine vorübergehende Entspannung dieser Lage brachte die vorhandene Weltwirtschaftskrise, welche den Ölpreis auf ein 5-Jahres-Tief von 33,41 Dollar je Barrel (159 Liter) fallen lies. Es dauerte gerade einmal 6 Monate und der Ölpreis dotiert heute schon wieder bei 70 Dollar je Barrel. Das ist eine Preissteigerung von fast 110 %. Es ist zu erwarten, dass nach dem voraussichtlichen Konjunkturaufschwung im Jahre 2010 der Ölpreis wieder dauerhaft über 100 Dollar notieren wird.

Solch hohe Rohölpreise wirken sich natürlich auch auf den Benzin- und Dieselpreis an unseren Tankstellen aus. Dadurch kommt es zu hohen Kraftstoffkosten bei der Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen. In der heutigen Landwirtschaft sind die vorhandenen Flächen sehr groß und liegen oftmals mehrere Kilometer auseinander. Entsprechend hoch sind die Kosten für die Energie- und Kraftstoffversorgung. Landwirte sind bestrebt, ihre Risiken zu minimieren und ihre Betriebskosten niedrig zu halten. Sie benötigen Stabilität und Unabhängigkeit zur besseren Kontrolle ihrer betrieblichen Aktivitäten. Bis zu einem gewissen Grad ist es möglich, diese Herstellungskosten auf den Verkaufspreis aufzuschlagen. Doch was passiert, wenn dieser erreicht ist?

1.2 *Zielsetzung*

Festgestellt werden soll, welche alternativen Kraftstoffe in Deutschland zum Betrieb von landwirtschaftlichen Maschinen zum Einsatz kommen könnten. Außerdem soll herausgefunden werden welche Mengen dieser Treibstoffe bereit gestellt werden können. Dafür ist es nötig festzustellen wie groß die mögliche Ackerfläche für die Herstellung erneuerbarer Treibstoffe in Deutschland ist und durch welche Faktoren sie begrenzt werden. Aus den Daten der möglichen Produktionsmenge, den Eigenschaften und den Herstellungspreisen der jeweiligen Treibstoffe, werden sich die Kraftstoffe abzeichnen die das höchste Potenzial besitzen den aus fossilem Erdöl gewonnen Diesel zu ersetzen.

1.3 *Vorgehensweise*

Als erstes wird betrachtet welche alternativen Kraftstoffarten zur Verfügung stehen. Nach der Betrachtung ihrer Tauglichkeit für den Einsatz im landwirtschaftlichen Bereich, erfolgt eine Betrachtung des Flächenbedarfs und der möglichen Herstellungspreise. Zum Schluss wird das mögliche Potenzial für diese erneuerbaren Treibstoffe ermittelt und ein Ausblick auf die Forschung heutiger Landmaschinenhersteller gewährt.

2 *Entwicklung der Landwirtschaft*

Mitte des 19. Jahrhunderts begann in England die Bodenbearbeitung durch John Fowlers Zwei-Maschinen-System. Hierbei wurde ein Kippflug von zwei Dampflokomobilen an jedem Feldrand abwechselnd hin und hergezogen. Ende des 19. Jahrhunderts wurde der erste Dampftraktor entwickelt. Hierbei handelte es sich um einen Dampfschaufelpflug, bei dem eine Dampfmaschine auf einem dreirädrigen Chassis aufgebaut ist. Diese 20 Tonnen schwere Maschine stellte das Ende der Dampftraktoren dar. Bereits zwei Jahre nach dieser Entwicklung wurde dieser Traktor mit Benzin betrieben und wog nur noch 3,2 Tonnen. Schließlich entwickelte Rudolf Diesel bei MAN den ersten, nach ihm benannten, stationären Motor mit Einblasung des Schweröls durch Druckluft. Heute werden die Traktoren auf aller Welt überwiegend mit Diesel betrieben.

In Deutschland gab es im Jahr 2003 einen Traktorenbestand von 1.774.129 Fahrzeugen. Bei allradbetriebenen Traktoren ergeben sich bei mittleren Arbeitsbedingungen und Auslastungen (550 bis 850 Stunden) folgende Dieserverbräuche.

Tabelle 1: Dieserverbrauch nach Leistungen

PS	KW	Liter pro Stunde
66-80	49-59	7
81-101	60-74	9
102-125	75-92	11
126-151	93-111	13
152-175	112-129	15
176-200	130-147	18
201-227	148-167	20
228-250	168-184	23
251-292	185-215	26

Quelle: <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/beratung/pdf/erfahrungssaetze.pdf>

Geht man davon aus, dass der Hauptanteil der Traktoren im Leistungsbereich von etwa 170 PS liegt, ist es möglich einen Gesamtkraftstoffverbrauch für den deutschen Traktorenbestand des Jahres 2003 zu berechnen. Dieser würde bei 600 Arbeitsstunden etwa 15.967.161.000 Liter betragen. Nun gilt es, in den nächsten Jahrzehnten diese Menge an fossilem Kraftstoff möglichst durch regenerative Kraftstoffe zu ersetzen.

3 *Mögliche Kraftstoffarten*

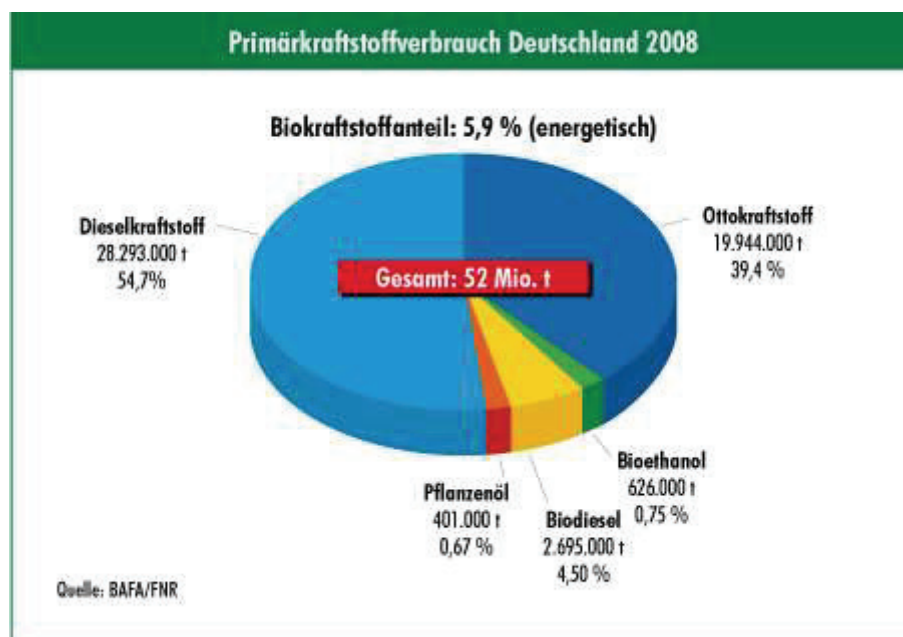
Zu den möglichen Biokraftstoffen zählt man Biodiesel, BtL, Ethanol, Methan, Pflanzenöl, Wasserstoff und Strom als eigene Antriebsmöglichkeit. Einige dieser Kraftstoffe können ohne weiteres in den heutigen Verbrennungskraftmotoren zum Einsatz kommen, da sie ähnliche Eigenschaften wie die konventionellen Kraftstoffe besitzen. Somit müsste bei diesen Kraftstoffen keine jahrelange und teure Entwicklungsarbeit betrieben werden, um sie in den heutigen Traktoren zum Einsatz bringen zu können. Der Betrieb mit Strom oder Wasserstoff befindet sich im Traktorenbereich noch in der Entwicklungsphase und wird wohl erst in einigen Jahren in die nähere Betrachtung für eine kommerzielle Nutzung rücken. Eine Umorientierung bei den Kraftstoffen weg von Diesel oder anderen fossilen Brennstoffen ist unumgänglich, da sie nur in begrenzter Menge vorhanden sind. Sicher ist es nicht möglich, von heute auf morgen eine Umstellung von Diesel zu erneuerbaren Kraftstoffen in der Landtechnik zu gewährleisten. Dieser Schritt bedarf einer langen Forschungs- und Entwicklungsphase. Jedoch müssen jetzt die Weichen für eine solche Umstellung gestellt werden, da wir uns unserer Rohölreserven nur noch für wenige Jahrzehnte sicher sein können. Festzuhalten bleibt, dass Rohöl nicht unbegrenzt auf unserem Planeten verfügbar ist und wir bereits bei der Fördermenge den „Peak-Oil“ erreicht haben. Somit wird die zugängliche Menge beschränkt und dies bedeutet bei gleichbleibender Nachfrage einen Anstieg der Rohölpreise. Ein solcher Anstieg beim Rohölpreis bedeutet natürlich auch eine Preissteigerung für das Veredelungsprodukt Diesel-. Am Anfang dieses Preisanstieges wird es keine Veränderungen hinsichtlich der Nachfrage geben. Erst wenn die Anschaffungskosten von Diesel höher sind, als die der möglichen alternativen Kraftstoffe, wird es eine vermehrte Nachfrage in diesem Bereich geben. Dadurch wird die Forschung und Entwicklung bei den neuen Kraftstoffformen zunehmen, sobald der Rohölpreis wieder signifikant ansteigt.

Dass Alternativen zu den fossilen Energieträgern benötigt werden, ist im Grundsatz also unumstritten. Während bei der Strom- und Wärmeerzeugung erneuerbare Energien inzwischen schon erhebliche Marktanteile haben, werden die Kraftstoffe heute noch fast vollständig aus Erdöl gewonnen. Biokraftstoffe aus Pflanzenölen, Holz, Getreide und anderen nachwachsenden Rohstoffen bieten mögliche Alternativen und werden in Zukunft maßgeblich zu einer nachhaltigen Mobilität beitragen. Im Verkehrsbereich zeigen sich pflanzliche Rohstoffe aus heutiger Sicht als einzige technisch erprobte und schnell umsetzbare Option, fossile Energieträger zu ersetzen. Vorhandenen Marktpotenziale und vertretbaren Kosten, welche durch be-

stehende Steuererleichterungen gewährleistet werden, sprechen dafür, dass Biokraftstoffe zukünftig eine stärkere Bedeutung erlangen werden.

Der Primärkraftstoffverbrauch in Deutschland (2008) betrug etwa 52 Mio. t und setzt sich zusammen aus Dieselmotorkraftstoff mit 54,6 %, Ottomotorkraftstoff mit 39,3 % und Biokraftstoff mit 5,9 %. Dabei nimmt Biodiesel mit 4,5 % und etwa 2.695.000 t die Führungsposition bei den alternativen Kraftstoffen ein. Danach folgen Bioethanol und Pflanzenöl mit 626.000 t (0,75 %) und 401.000 t (0,67 %) mit einem eher geringen Marktanteil. Dabei ist festzustellen, dass der Anteil an Biokraftstoffen von 1,4 % (2003), 2 % (2004), 3,6 % (2005), 6,3 % (2006) und 7,2% (2007) im Jahr 2008 erstmals rückläufig ist. Neben dem geringeren Verbrauch an fossilen Ressourcen wird durch Biotreibstoffe auch der CO₂-Ausstoß gesenkt. Dadurch wurden im Jahr 2008 rund 8,3 Mio. t CO₂ eingespart.

Abb. 1: Primärkraftstoffverbrauch Deutschland 2008



Quelle: <http://www.bio-kraftstoffe.info/kraftstoffe.html>

In Tabelle 2 ist zu sehen, dass Rapsöl direkt hinter konventionellem Dieselmotorkraftstoff mit 34,59 MJ/l den höchsten Heizwert in MJ/l aller hier aufgeführten Kraftstoffe hat. Somit kann die Größe des Kraftstofftanks eines Traktors aus energetischer Sicht unverändert beibehalten werden.

Tabelle 2: Kraftstoffvergleich Eigenschaften von Biokraftstoffen

KRAFTSTOFFVERGLEICH								
Eigenschaften von Biokraftstoffen								
	Dichte [kg/l]	Heizwert [MJ/kg]	Heizwert [MJ/l]	Viskosität bei 20°C [mm ² /s]	Cetan- zahl	Oktan- zahl (ROZ)	Flamm- punkt [°C]	Kraftstoff- äquivalenz [l]
Dieselmkraftstoff	0,83	43,1	35,87	5,0	50	-	80	1
Rapsöl	0,92	37,6	34,59	74,0	40	-	317	0,96
Biodiesel	0,88	37,1	32,65	7,5	56	-	120	0,91
Biomass-to-Liquid (BtL) ¹⁾	0,76	43,9	33,45	4,0	> 70	-	88	0,97
Ottokraftstoff	0,74	43,9	32,48	0,6	-	92	< 21	1
Bioethanol	0,79	26,7	21,06	1,5	8	> 100	< 21	0,65
Ethyl-Tertiär-Butyl-Ether (ETBE)	0,74	36,4	26,93	1,5	-	102	< 22	0,83
Biomethanol	0,79	19,7	15,56	-	3	> 110	-	0,48
Methyl-Tertiär-Butyl-Ether (MTBE)	0,74	35,0	25,90	0,7	-	102	- 28	0,80
Dimethylether (DME)	0,67 ²⁾	28,4	19,03	-	60	-	-	0,59
Biomethan	0,72 ⁵⁾	50,0	36,00 ³⁾	-	-	130	-	1,4 ⁴⁾
Wasserstoff GH2	0,016	120,0	1,92	-	-	< 88	-	2,8

¹⁾Werte auf Grundlage von FT-Kraftstoffen, ²⁾bei 20°C, ³⁾[MJ/m³], ⁴⁾Biomethan in [kg], ⁵⁾[kg/m³]

Quelle: FNR

Quelle: http://www.fnr.server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174_basisdaten_biokraftstoff_freigabe.pdf

Wasserstoff schneidet bei diesem Vergleich mit lediglich 1,92 MJ/l am schlechtesten ab. Betrachtet man den Flammpunkt, so ist Rapsöl mit 317°C der am schwersten entflammbare Kraftstoff, was zur Sicherheit beim Transport und der Lagerung von Rapsöl beiträgt. Auf die weiteren Vor- und Nachteile, die sich durch die verschiedenen Eigenschaften ergeben, wird in den folgenden Kapiteln näher eingegangen.

3.1 Bioethanol

Es gibt verschiedene landwirtschaftliche Rohstoffe aus denen Ethanol (C₂H₅OH) hergestellt werden kann. Ethanol kann aus nachwachsenden Rohstoffen auf Basis stärke- und zuckerhaltiger Feldfrüchte oder aus zellulosehaltigen Pflanzenbestandteilen hergestellt werden. Es entsteht als Hauptprodukt bei der Vergärung von Zucker durch Hefe oder Bakterien. In der deutschen Landwirtschaft kommen vor allem Zuckerrüben, Weizen, Roggen, Triticale, Körnermais und Kartoffeln zum Einsatz. Bei diesen Erzeugnissen gibt es gute Anbauerfahrungen und es werden nicht nur hohe Erträge erzielt, sondern es herrscht auch eine hohe Ertragssicherheit. In Deutschland ist die Zuckerrübe der wichtigste Zuckerlieferant. Kartoffeln und Weizen sind dagegen die wichtigsten Stärkelieferanten. Unter den gegebenen anbautechnischen und meteorologischen Bedingungen stellen diese Rohstoffe die vielversprechendsten Optionen für eine Produktion von Ethanol dar. Ethanol eignet sich aufgrund seiner physikalisch-chemischen Eigenschaften gut als Kraftstoff für den Verkehrsbereich. Der spezifische Energieinhalt ist zwar geringer als bei Otto- oder Dieselmkraftstoffen, aber er ist unter Normalbedingungen auch flüssig und kann nahezu gleichermaßen gehandhabt werden. Im Vergleich

zu anderen neuen Kraftstoffen hat Ethanol den Vorteil, dass die Substanz lange bekannt ist und mit etablierten Techniken hergestellt werden kann. Jedoch kann Ethanol als Reinkraftstoff für den Betrieb von konventionellen Motoren nicht verwendet werden. Nötig sind hierfür Reinethanolmotoren. Um eine breite Anwendung zu erzielen, muss eine entsprechende Verbreitung dieses Motorentyps, sowie ein eigenes Distributionssystem für diesen Kraftstoff geschaffen werden.

Der Heizwert des Ethanols ist mit 26,8 MJ/kg deutlich geringer als der des Normalbenzins mit 43,5 MJ/kg.

3.1.1 Zuckerhaltige Rohstoffe

Zuckerhaltige Rohstoffe haben weltwirtschaftlich betrachtet eine herausragende Bedeutung bei der Ethanolerzeugung. In den gemäßigten Zonen erbringt die Zuckerrübe bei der Umwandlung von Sonnenenergie in Biomasse die höchste flächenbezogene Leistung. Begründet ist dies durch ihre Fähigkeit zur intensiven Photosynthese auch bei relativ niedrigen Temperaturen.

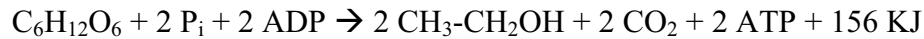
Auf den in Deutschland zur Verfügung stehenden 12 Mio. ha Ackerfläche werden zur Zeit etwa 450.000 ha zum Zuckerrübenanbau genutzt, dies entspricht fast 4 % der gesamten Anbaufläche. Rund 15 % der gesamten Ackerfläche gilt als für den Zuckerrübenanbau geeignet. Die Zuckerrübenanbauflächen wurden im Jahr 2008 in nahezu allen Anbaugebieten gegenüber dem Vorjahr um rund 7 % von 391.496 auf 363.834 ha zurückgenommen. Lediglich in Niedersachsen (+ 2,1%) und Bayern (+ 1,1%) wurden sie leicht ausgedehnt. Die größten prozentualen Reduzierungen der Anbauflächen waren in Schleswig-Holstein (- 37,7%) und Brandenburg (- 35,3%) zu verzeichnen. Bei der Zuckererzeugung aus Rüben wurden 2008/09 mit 3.638.390 t etwa 6,7 % weniger erzeugt als im Vorjahr. Dieser Rückgang ist auf die Reduzierung der Rübenanbaufläche zurückzuführen. Durchschnittlich wurden 2008/09 im Bundesgebiet 63,2 t/ha geerntet. Der Zuckergehalt betrug im Bundesdurchschnitt 18,04 %.

Für die Herstellung von einem kg reinem Ethanol werden 12,4 kg Zuckerrüben (Zuckergehalt 17,5 % und Wassergehalt 76 %) benötigt (vgl. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, 2003).

Weitere zuckerhaltige Rohstoffe sind die Zuckerhirse und das Zuckerrohr. Weltweit betrachtet ist Zuckerrohr der wichtigste Rohstoff für die Ethanolerzeugung. Aufgrund der klimatischen Bedingungen ist es für Mitteleuropa aber nicht relevant (vgl. Schmitz, 2003). Die Zuckerhirse ist eine Form der Mohrenhirse. Als Vorteil der Zuckerhirse sind die größeren Mengen an zellulosehaltigen Reststoffen in der Bagasse zu sehen, denn diese können energetisch

genutzt werden (vgl. Hartmann, 2002). Bisher sind die dafür relevanten Produktions- und Verarbeitungstechniken in Europa jedoch weitgehend unbekannt. In Europa wird Ethanol hauptsächlich aus Zuckerrüben gewonnen.

Hierbei erfolgt unter Ausschluss von Sauerstoff mit Hilfe von mikrobiellen Enzymen der Zuckerabbau. Dabei werden die Kohlenhydrate biochemisch gespalten. Dies läuft wie folgt ab:



Aus einem Mol Hexose (z.B. Glucose, Fructose) werden je zwei Mol Ethanol ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$) und Kohlenstoffdioxid (CO_2), sowie zwei Mol der energiereichen Verbindung Adenosin-Triphosphat (ATP) und Wärme gebildet. Durch die Anlagerung von zwei Mol anorganischem Phosphat (P_i) an Adenosin-Diphosphat (ADP), werden je zwei Mol ATP gebildet. Für den technischen Prozess bedeutet das, dass aus 1 kg Glucose rund 511 g Ethanol und 489 g CO_2 unter Freisetzung von 876 KJ Wärme gebildet werden, wobei 340 KJ in Form von chemisch gebundener Energie der Hefe für den Stoffwechsel zur Verfügung stehen. Um eine größtmögliche Alkoholbildung zu erlangen, müssen optimale Kulturbedingungen (Gärtemperatur, pH-Wert, Nährsalze, Zucker) für die jeweiligen Mikroorganismen geschaffen werden (Zitat; http://www.wiso.boku.ac.at/fileadmin/_/H73/H733/pub/Biogas/2004_DA_Gangl.pdf).

3.1.2 Stärkehaltige Rohstoffe

In Deutschland werden zur Ethanolerzeugung alle Getreidearten, Kartoffeln, Topinambur und auch Zichorien angebaut. Im Anbaujahr 2007/08 wurde in Deutschland auf 5,7 Mio. ha Getreide angebaut. Die Getreideernte fiel mit knapp 47,2 Mio. t höher aus als in den vorherigen Jahren. Begründet ist dies durch die Flächenausdehnung infolge des Wegfalles der EU-Flächenstilllegung und der hohen Getreidepreise im Erntejahr 2007.

In den letzten Jahrzehnten konnten die Getreideerträge in Deutschland durchschnittlich um 1-2 % gesteigert werden. Für die Zukunft sehen Saatzüchter und landwirtschaftliche Verwertungsgesellschaften ähnliche Steigerungsraten. Das liegt vor allem daran, weil das genetische Potenzial der angebauten Sorten von etwa 15 bis 20 t pro ha noch nicht ausgeschöpft ist. Auf sehr guten Standorten werden heute bei Weizen Erträge von bis zu 12 t pro ha erzielt. Die Unstimmigkeit zwischen Ertrag und dem Potenzial der Sorten ist wesentlich auf die Parameter Wetter und Bodenbedingungen, „punktgenaue“ Aussaat- und Erntetermine, sowie Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen zurückzuführen.

Beim Getreideanbau für die Ethanolerzeugung ist es wichtig, einen möglichst hohen Stärkegehalt im Korn zu erzielen. Wichtig dafür ist eine gute Kornausbildung, da der Eiweißgehalt des Getreidekorns im Laufe der Kornfüllungsphase ständig abnimmt und Stärke eingelagert

wird. Die Getreidearten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Eignung für die Ethanolherzeugung. Entscheidend für den Kornertrag sind Anbauintensität und Art bzw. Sorte. Die höchsten Stärkegehalte bei guter Kornausbildung erzielen besonders Winterweizen, Wintergerste und Triticale. Den höchsten Stärkegehalt besitzt Weizen mit 67,5 %, gefolgt von Triticale mit 66,5 % und Gerste mit 66,1 %. Roggen hat einen Stärkegehalt von 64,6 %. Er eignet sich jedoch nicht aufgrund seiner Kornform, der geringeren Korngröße sowie des höheren Gehalts an nicht vergärbaren Pentosenen, welche zu einer geringeren Ethanolausbeute führen. Für eine hohe Ethanolausbeute bedarf es einer niedrigen Fallzahl und geringer Kornfeuchte. Da die Stärke von Hefen nicht zu Ethanol vergoren werden kann, müssen in den Produktionsprozess Konversionsschritte eingeschaltet werden, die eine Umwandlung der Stärke in vergärbaren Zucker sicherstellen. Die biochemische Umwandlung umfasst den Stärkeaufschluss mit Verflüssigung und Verzuckerung, der anschließenden Vergärung der verzuckerten Maische und die Destillation.

Die Ethanolherstellung auf Maisbasis spielt in Deutschland keine Rolle. Weltweit gesehen sind Brasilien und die USA die größten Ethanolhersteller. Als Rohstoffe kommen hier Körnermais und Corn-Cob-Mix zum Einsatz. Für die Ethanolproduktion aus Mais wird ein Wassergehalt der Körner von maximal 15 %, ein Stärkegehalt von mindestens 62 % und ein möglichst geringer Rohproteingehalt von 9 bis 10,5 % gefordert. Nachteilig ist in Deutschland der hohe Energieaufwand bei der Trocknung von Körnermais, da unter mitteleuropäischen Klimabedingungen die Ernte erst im Oktober oder November erfolgen kann. Bei der Verwendung von Corn-Cob-Mix entfällt dieser Nachteil, da die geschroteten und silierten Maiskolben unmittelbar und ohne aufwändige Trocknung in die Maische gegeben werden. Eine eher geringe Bedeutung für die Ethanolherzeugung in Deutschland hat die Kartoffel. Die Anbaufläche betrug im Jahre 2008 nur noch 260.000 ha und ist weiter abnehmend. Im konventionellen Anbau liegt der Ertrag bei etwa 45t/ha. Aus einer Tonne Kartoffeln kann man etwa 0,079 t Ethanol erzeugen. Die Kartoffel ist für die Ethanolherzeugung ein problematischer Rohstoff. Nachteilig sind vor allem die hohen Lager-, Rohstoff- und Verarbeitungskosten, die eingeschränkte Verwendbarkeit der Schlempe, sowie der hohe Abwasseranfall.

„Für eine industrielle Bioethanolherzeugung sind Kornmassen gegenüber kohlenhydrathaltigen Spross-, Rüben- und Knollenmassen im Vorteil, weil sie aufgrund hoher Energiedichte und niedriger Wassergehalte eine relativ unaufwändige Lagerung erlauben und eine höhere Transportwürdigkeit besitzen. Zusammen gewährleistet dies auch die ganzjährige Auslastung einer Konversionseinrichtung.“

Tabelle 3: Stärken und Schwächen der stärkehaltigen Rohstoffe zur Ethanolherzeugung

Rohstoff	Stärken	Schwächen
Kartoffeln	<ul style="list-style-type: none"> ↑ relativ geringe Ansprüche an den Boden ↑ hohe Flächenproduktivität ↑ hoher Vorfruchteffekt 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ hohe Rohstoffkosten ↓ relativ hohe Lagerkosten bei hohem Lagervolumen ↓ hohe Verarbeitungskosten ↓ eingeschränkte Verwendbarkeit der Schlempe ↓ hoher Abwasseranfall
Körnermais	<ul style="list-style-type: none"> ↑ geringe Ansprüche an den Boden ↑ kann in Monokulturen angebaut werden ↑ hohe Flächenproduktivität ↑ gute Verfügbarkeit ↑ gute verwertbare Kuppelprodukte 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ hoher Düngeraufwand erforderlich ↓ Trocknung von Mais erfordert hohen Energieaufwand ↓ Konkurrenz für Schweine- und Geflügelhaltung
Roggen	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Vorzüglichkeit auf schwachen Böden ↑ geringe Ansprüche an Düngung und Pflege ↑ kostengünstiger Rohstoff, im Überangebot verfügbar 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Angebot abhängig von der Marktordnung ↓ geringere Ethanolausbeute als bei Weizen und Triticale ↓ hoher Proteingehalt ↓ hohe Kosten wegen viskositätssenkender Enzyme und hoher Dampfbedarf für die DDGS-Trocknung ↓ Schlempenrückführung nur begrenzt möglich
Triticale	<ul style="list-style-type: none"> ↑ hoher Stärkegehalt, gut Kornausbildung ↑ gute Verarbeitung bei der Ethanolherzeugung ↑ relativ hohe Ausbeute ↑ Vorzüglichkeit auf schwachen Böden ↑ kostengünstiger Rohstoff 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ relativ geringe Flächenproduktivität ↓ wird wie Weizen auf internationalen Märkten gehandelt ↓ Verfügbarkeit am Markt eingeschränkt

We ize n	↑ hoher Stärkegehalt, gute Kornausbildung ↑ gute Lagerfähigkeit ↑ gute Verfügbarkeit, weltweit auf Märkten gehandelt ↑ Flächenproduktivität bei Vergleich mit anderen Getreidearten hoch ↑ gute Verarbeitungseigenschaften bei der Ethanolherzeugung und hochwertige Kuppelprodukte ↑ relativ geringe Abwassermengen	↓ relativ hohe Ansprüche an den Boden ↓ relativ teurer Rohstoff ↓ im Vergleich zu zuckerhaltigen Rohstoffen und Kartoffeln geringe Flächenproduktion
----------------	---	--

Quelle: Zur Kinetik und zur verbesserten Reaktionsführung der hydrierenden Tiefentschwefelung von Dieselöl von Christoph Schmitz von Shaker (Taschenbuch - Dezember 2003)

3.1.3 Lignozellulosehaltige Rohstoffe

Die nutzbare Biomasse dieser Rohstoffe besteht zu einem wesentlichen Anteil aus Zellulose, Lignin, Pektin und Hemizellulose. Zu diesen Rohstoffen zählen schnell wachsende Baumarten (z.B. Pappel, Weide), Miscanthus, Rutenhirse, Rohrglanzgras und Futtergräser. Die wichtigsten Zelluloselieferanten sind in der Abbildung 2 zu erkennen.

Abb. 3: Zelluloselieferanten

Holz

- Primärholz aus vorhandenen Forstkulturen bzw. Waldbeständen
- Plantagenholz
- Primärabfälle aus der Forstindustrie
- Sekundärholzabfälle aus der Holzverarbeitenden Industrie
- Zellulosehaltige Plantagenpflanzen

Zellulosehaltige Rückstände aus der Landwirtschaft

- Stroh
- Bagasse
- Silagen
- Häusliche Abfälle
- Papierabfall

Quelle: N. Schmitz, Bioethanol in Deutschland, Landwirtschaftsverlag GmbH, 2003

In Deutschland ist mittelfristig vorrangig die Verarbeitung von zellulosehaltigen Rückständen aus der Landwirtschaft relevant. Bisher gibt es außerhalb der Papierindustrie im westlichen Europa keine großen Ethanolanlagen, die auf Basis von Lignozellulose arbeiten. Die internationale Energieagentur schätzt die Herstellungskosten pro Liter derzeit auf 0,30 bis 0,38 US\$ und erwartet bis zum Jahr 2015 ein Absinken auf 0,20 US\$ je Liter. Zucker und Stärke werden aber auf absehbarer Zeit weiterhin die wesentlichen Rohstoffe für die Ethanolerzeugung bleiben.

Sonstige Rohstoffe

Ethanol kann auch aus agrarischen Produkten, wie Wein hergestellt werden. Dies ist in der EU aufgrund der hohen Überproduktion von Wein besonders bedeutsam. Daher interveniert die EU regelmäßig im Weinmarkt, um nicht absetzbare Mengen aus dem Markt zu nehmen. Dieser Wein wird dann destilliert und als Weinethanol eingelagert. Die jährliche Weinethanolproduktion liegt zwischen 150.000 und 250.000 m³. In den Lagern der EU befanden sich im Jahr 2003 schätzungsweise 300.000 m³ Weinethanol. Dieser Weinethanol wird im Regelfall über öffentliche Versteigerungen abgesetzt. Geringe Mengen werden in Frankreich für neue Anwendungen in der Hefeindustrie eingesetzt. Das Potenzial für diese Absatzmöglichkeit wird auch für die Zukunft als eher gering eingeschätzt. Eine weitere Möglichkeit ist die Veräußerung von Weinethanol an Bioethanolproduzenten. Die Erzeuger müssen nachweisen, dass sie den Ethanol im Kraftstoffsektor absetzen, dann können sie am Tender-Verfahren teilnehmen. Im Jahr 2003 waren lediglich drei Unternehmen bei der EU registriert. Die erzielten Preise bei den Verkäufen lagen bei rund 20 € pro m³. Der Großteil des europäischen Weinethanols wird in die Karibik exportiert. Der Weinethanol wird nach der Entwässerung meist lukrativ in die USA für die Verwendung im Kraftstoffsektor exportiert. Bei dem Verkauf von Weinethanol in die Karibik werden etwa 70 € bis 80 € pro m³ erzielt. Für die EU betragen die Kosten des Weinethanols (Wein, Destillation, Logistik und Lagerung) nach Schätzungen etwa 1150 € pro m³. Somit betragen die jährlichen Kosten bei einem Absatz von 100.000 m³ Weinethanol rund 100 Mio. €.

3.2 Biomethanol

Methanol ist ein vielseitig einsetzbarer Rohstoff. Derzeit wird es auch als Wasserstoffträger für Brennstoffzellenfahrzeuge eingesetzt. Es kann auch wie Erdgas mit Wasserdampf zu Wasserstoff und Kohlendioxid umgesetzt werden. Besonderes Augenmerk soll hier auf seine Eig-

nung als Kraftstoff im Traktorenbereich gelegt werden. Dafür sprechen die guten physikalischen und chemischen Eigenschaften. Der spezifische Energiegehalt von Methanol liegt bei 4,4 kWh/l und ist somit geringer als bei herkömmlichen Otto- und Dieselmotoren. Methanol ist flüssig und kann nahezu gleichermaßen gehandhabt werden wie konventionelle Kraftstoffe. Nachteilig ist das brennende reine Methanol nicht sichtbar ist. Hergestellt wird es aus Synthesegas, das über die Vergasung von Kohle oder aus Erdgas und schweren Ölrückständen gewonnen wird. Aber auch über die Vergasung von organischen Abfällen im Gemisch mit geringen Anteilen an Kohle kann Methanol hergestellt werden. Damit Methanol aber als regenerativer Kraftstoff angesehen werden kann sollte es über die Vergärung nachwachsender Rohstoffe durch deren Zerfall von Pektinen gewonnen werden. Es bildet sich bei der trockenen Destillation des Holzes. Allerdings fällt hierbei auch ein wasserhaltiges Teerprodukt an, das eine aufwändige Aufarbeitung nötig macht.

Methanol wird bei der Gewinnung elektrischer Energie in einer Direktmethanol-Brennstoffzelle verwendet. Solche Brennstoffzellen befinden sich heute allerdings noch im Entwicklungsstadium. Alternativ kann man Methanol in einem Reformier in ein wasserstoffreiches Gasgemisch und CO_2 zerlegen. Der entstandene Wasserstoff kann dann in einer normalen Brennstoffzelle verarbeitet werden. Bei der Verwendung von reinem Methanol wurden die entsprechenden Nutzfahrzeug-Dieselmotoren entsprechend modifiziert. Weil Methanol eine niedrige Cetanzahl besitzt, ist ein Motorbetrieb als Selbstzünder nicht möglich. Daher wurden zusätzliche Zündhilfen in Form von Diesel-Piloteinspritzungen oder Kerzen- bzw. Glühzündung eingesetzt. In den angepassten Motoren lassen sich im Vergleich zu Benzinmotoren eine bis zu 10% höhere Motorleistung und ein etwa 15% besserer thermischer Wirkungsgrad erzielen. Dadurch wird ein günstigerer energetischer Kraftstoffverbrauch erreicht. Nachteilig ist der bis zu 50% höhere volumetrische Kraftstoffverbrauch, welcher durch den geringeren Heizwert von Methanol gegenüber Benzin hervorgerufen wird. Da Methanol giftig ist, gelten besondere Vorsichtsmaßnahmen bei der Betankung und bei Arbeiten am Fahrzeug. Aufgrund seiner biologischen Abbaubarkeit geht von Methanol bei eventuellen Unfällen eine sehr geringe Umweltgefährdung aus.

Das Umweltbundesamt lehnt den Einsatz von Methanol, der vor allem aus Erdgas gewonnen wird als Kraftstoff ab, weil man das Erdgas bzw. Biogas auch ohne die Verluste der Methanolherstellung direkt nutzen könnte.

3.3 Pflanzenöl

Die landwirtschaftlichen Ausgangsstoffe aus denen Pflanzenöl hergestellt wird sind Ölsaaten und Früchte. In Deutschland wird hierfür vor allem Raps (Ölgehalt von ca. 40%) als Rohstoff verwendet. Der Ertrag von Rapsöl liegt bei 1.480 l/ha. Auch Sonnenblumen kommen in Frage, jedoch ist ihr Öl in der Herstellung deutlich teurer. International gesehen wird hauptsächlich Palm- und Sojaöl produziert. Da Sonnenblumenöl in der Herstellung teurer ist als Rapsöl, wird aus Kostengründen vermehrt Soja- und Palmöl als Rapsölersatz importiert. 2008 wurden im Kraftstoffsektor 418.000 Tonnen Pflanzenöl abgesetzt.

Pflanzenöl stellt eine der dichtesten Energieformen dar, die durch Photosynthese entstehen. Reines Pflanzenöl besteht zum Großteil aus Estern langkettiger Fettsäuren und ist schwerer entflammbar als Diesel. Es besteht aus Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O) und Wasserstoff (H) im Verhältnis von etwa $C_{60}H_{120}O_6$. Pflanzenöle werden durch Zermahlen der Samen und anschließender Kaltpressung gewonnen und durch Hexanextraktion in industriellen Großanlagen. Bei der Kaltpressung werden die gereinigten Ölsaaten durch mechanischen Druck bei Temperaturen von max. 40°C ausgepresst. Die Schwebstoffe werden dann durch Filtration oder Sedimentation entfernt. Bei der zentralen Ölgewinnung werden die Ölsaaten vorbehandelt und bei höheren Temperaturen ausgepresst. Aus dem verbleibenden Ölpresskuchen (Ölgehalt von ca. 10%) wird das Öl mit einem Lösemittel bei Temperaturen von bis zu 80°C herausgelöst. Anschließend wird durch Verdampfen das Lösemittel vom Öl abgetrennt. Bei diesem Verfahren enthält das Öl mehr unerwünschte Begleitstoffe als bei der Kaltpressung. Diese werden anschließend durch Raffination entfernt. Endprodukt ist ein als „Vollraffinat“ bezeichnetes Pflanzenöl. Dieses Öl ist reaktionsträge und hat eine Energiedichte von 9,2 kWh/l. Im Vergleich zu Benzin und Diesel ist Pflanzenöl CO₂-neutral, regenerativ und frei von Schwefel, Schwermetallen und Radioaktivität. Die Energiedichte liegt über Benzin (8,6 kWh/l) und unter Diesel (9,8 kWh/l).

Der erste Dieselmotor wurde 1900 in Paris auf der Weltausstellung von Rudolf Diesel präsentiert und lief nicht mit Diesel, sondern mit Pflanzenöl. Trotzdem verschwand Pflanzenöl als Treibstoff nach einigen Jahren in der Versenkung. Wenn die Autoindustrie es gewollt hätte, gäbe es bereits wieder die dazu gehörigen Motoren. In den 70er Jahren widmete sich Ludwig Elsbett, einer der besten Motorenentwickler seiner Zeit, ganz der Entwicklung des Pflanzenölmotors. Doch traf er auf Ablehnung bei der Automobilindustrie und den Erdölkonzernen. Durch die hohen Erdölpreise scheint jetzt die Zeit für Pflanzenöl als reinen Treibstoff gekommen zu sein. Bevor man unverändertes Pflanzenöl als Kraftstoff nutzen kann, muss der

Motor an den Kraftstoff angepasst werden, um den Viskositäts- und Verbrennungseigenschaften der Pflanzenöle gerecht zu werden. Beim Umbau stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: Eintank- oder Zweitanksysteme. Beim Eintanksystem wird ausschließlich mit Pflanzenöl gefahren. Hierbei werden die Einspritzsysteme und der Kraftstoff vorgewärmt. Bei einem Zweitanksystem beginnt und endet die Fahrt mit Diesel als Treibstoff. Auf den Pflanzenölbetrieb wird hier erst bei Erreichen der Betriebstemperatur umgeschaltet. Da hier nur Antriebsquellen betrachtet werden sollen, die ohne fossile Rohstoffe auskommen, entfällt das Zweitanksystem aus der Betrachtung. Die Umrüstkosten für Traktoren belaufen sich auf 4.800 bis 6.800 Euro. In Motoren die nicht an Pflanzenöl angepasst sind, sollte es weder in Reinform noch in Mischung mit Diesel eingesetzt werden. Die Folge wären Schäden an den Einspritzsystemen und Ablagerungen im Motor, weil die Verbrennungseigenschaften zu stark von denen des Dieselmotors abweichen.

Momentan wird daran gearbeitet, einen pflanzenölauglichen Traktor zur Serienreife zu bringen. In einem Projekt des Bundeslandwirtschaftsministeriums wollen die John Deere Werke Mannheim, die Vereinigten Werkstätten für Pflanzenöltechnologie (VWP) und die Universität Rostock versuchen, Traktormotoren auf den Pflanzenölkraftstoff anzupassen und eine langfristige Betriebssicherheit zu gewährleisten. Die Abgasstufe T3 soll selbstverständlich von den Motoren erreicht werden. Es gab bereits einen ähnlichen Versuch bei dem die Praxistauglichkeit von Rapsöl in serienmäßigen Traktoren getestet wurde. Bei diesem 100-Traktoren-Demonstrationsversuch wurde deutlich, dass nicht jeder Motorentyp für den Betrieb mit Rapsöl geeignet ist. Außerdem blieb festzuhalten, dass ein störungsfreier Betrieb nur auf Grund einer genormten Kraftstoffqualität möglich sei. Im Vergleich zu Diesel hat Pflanzenöl bei niedrigen Temperaturen eine bis zu zehnmal höhere Viskosität. Das führt vor allem beim Winterbetrieb und beim Kaltstart des Motors zu Problemen. Der Flammpunkt liegt bei rund 240°C und ist damit deutlich höher als bei Diesel (~55°C). Daher ist Pflanzenöl bei der Lagerung und beim Transport besonders sicher, einfach handhabbar und in keine Gefährdungskategorie der Verordnung über brennbare Flüssigkeiten eingestuft.

Da nicht alle Motoren auf Pflanzenöl umrüstbar sind, gibt es spezielle Unternehmen, die sich auf die Umrüstung bestimmter Motorentypen spezialisiert haben. Wichtig für die Umrüstung ist der Einsatzbereich des Traktors. Bei einem hohen Anteil an Volllaststunden (z.B. Grubber- und andere Feldarbeiten) muss sichergestellt sein, dass die Verbrennungsvorgänge optimal ablaufen. Sollte der Traktor vorwiegend im Teil- oder sogar Leerlaufbereich (z.B. beim Antrieb von Nebenaggregaten, bei Landschaftspflegearbeiten etc.) eingesetzt werden, ist mit vermehrten Ablagerungen im Brennraum infolge von unvollständiger Verbrennung zu rech-

nen. Außerdem ist ein erhöhter Pflanzenöleintrag ins Motorenöl zu berücksichtigen. Bei der Umrüstung müssen Aufgrund der schlechteren Viskosität und Zündfähigkeit folgende Anpassungen vorgenommen werden:

- Motorblockvorwärmung
- Vergrößerte Leistungsquerschnitte im Kraftstoffniederdrucksystem
- Stärkere Niederdruckkraftstoffpumpe
- Vergrößerte Kraftstofffilter
- Vorwärmung des Rapsöls
- Temperaturregelung für das Rapsöl vor der Hochdruckpumpe
- Rapsöлтаugliche Hochdruckeinspritzpumpe
- Einspritzdüsen mit höherer Anzahl an Düsenbohrungen
- Veränderte Einspritzgeometrie
- Optimierung der Verbrennung über den Datensatz des Motorsteuergerätes

Bei einer Beispielberechnung wurde für einen 100-kW-Traktor ein Dieselverbrauch von zwölf Litern je Betriebsstunde (Bh) zugrunde gelegt sowie ein pflanzenölbedingter Mehrverbrauch von fünf Prozent. In Tabelle 4 sind die Kraftstoffkosten pro Betriebsstunde im Dieselmotorbetrieb und für Pflanzenöl im Eintanksystem dargestellt.

Tabelle 4: Kosten für Pflanzenbetriebe Traktoren mit Eintanksystem

		Diesel	Eintank-System
Umrüstkosten	€	-	6.000
Verbrauch	l/Bh	12,00	12,6
Pflanzenölanteil	%	-	100
Kraftstoffkosten	€/l	1,10	0,70
Preisdifferenz	€/l	-	0,40
Kraftstoffkosten pro Bh	€/Bh	13,20	8,82
Ersparnis	€/Bh	-	4,38

<http://www.bio-kraftstoffe.info/kraftstoffe/pflanzenoel/tipps-und-hinweise.html>

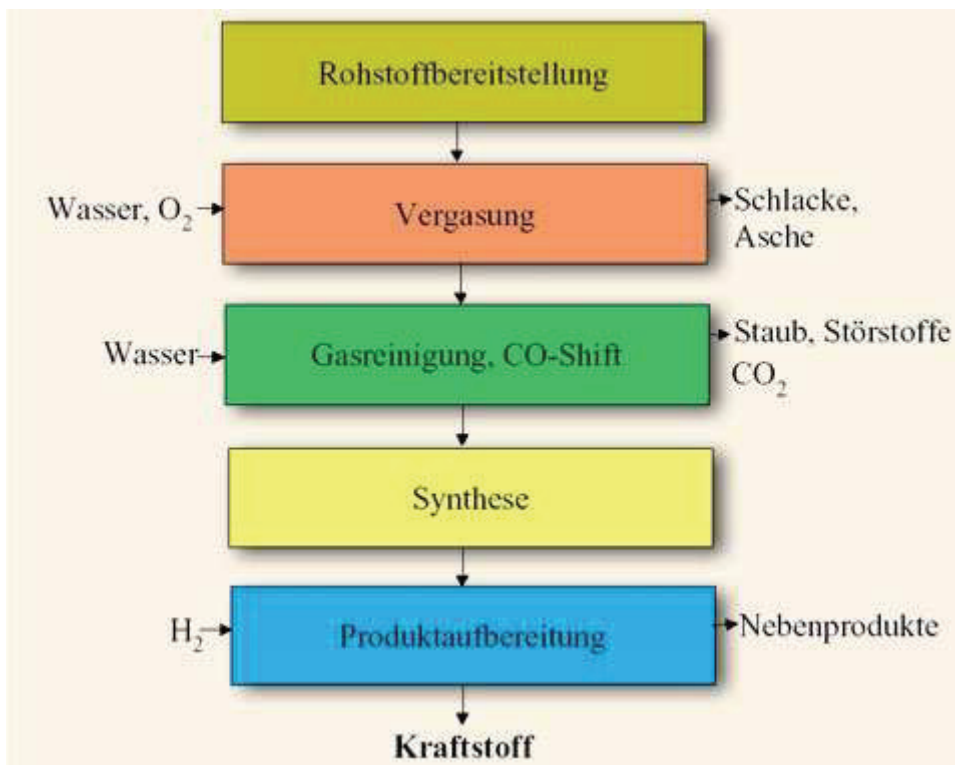
Zu erkennen ist, dass die Ersparnis beim Betrieb mit Pflanzenöl gegenüber Dieselmotorbetrieb und schreibe rund 33,2% beträgt.

3.4 Biomasse to Liquid (BtL) – Kraftstoffe

Die Rohstoffe aus denen BtL hergestellt wird, sind anfallende Reststoffe wie Stroh, Energiepflanzen und Holz. Der Jahresertrag liegt bei etwa 4.030 l/ha. Eine realistische Anbaugröße in Deutschland liegt bei etwa 4-6 Millionen Hektar. Mit diesen Produktionsvoraussetzungen lassen sich in Deutschland etwa 20-25% des gesamten Kraftstoffbedarfs ersetzen. Europaweit betrachtet liegen die Potenziale um einiges höher und beträgt nach Schätzungen etwa 40 Prozent. BtL-Kraftstoffe werden synthetisch hergestellt und werden daher auch als Designerkraftstoff bezeichnet. Die Eigenschaften dieses Kraftstoffes können gezielt beeinflusst werden, um die Bedürfnisse eines optimierten Brennverfahrens zu gewährleisten. Neben der Aromaten- und Schwefelfreiheit sind besonders der Stickoxid- und der Partikelaustritt gegenüber Diesel deutlich reduziert. Weiterhin führt die erhöhte Cetanzahl zu einer optimalen Verbrennung im Motor.

Der Produktionsablauf zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen lässt sich in folgende Teilprozesse untergliedern (Abb. 3).

Abb. 4: Herstellungsprozess von BtL



Quelle: <http://www.btl-plattform.de/herstellung.html>

Der Vorteil von BtL-Kraftstoffen liegt vor allem in den verschiedenen Rohstoffen, die zur Verfügung stehen. Während bei herkömmlichen Biokraftstoffen oftmals nur Teile der Pflanze genutzt werden können, kann bei der Herstellung von synthetischen Kraftstoffen die gesamte Pflanze genutzt werden. Zu Beginn des Herstellungsprozesses wird die vorhandene Biomasse zunächst in ein Synthesegas umgewandelt. Dazu wird der Rohstoff in einem Reaktor unter Zufuhr von Wärme, Druck und einem Vergasungsmittel (z.B. Sauerstoff) in einen gasförmigen Zustand versetzt. Das entstandene Synthesegas besteht vor allem aus Kohlendioxid (CO_2), Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H_2). Danach folgt die Gasreinigung bei der Schwefelverbindungen, Stickstoffverbindungen und Schadkomponenten entfernt werden. Sollten diese Schadstoffe nicht entfernt werden, kann es bei dem anschließenden Syntheseverfahren zu Beschädigungen der Katalysatoren kommen. Um das erforderliche Verhältnis zwischen Wasserstoff und Kohlenmonoxid von 2:1 zu erreichen, wird der Wasserstoff-Anteil mit Hilfe des sogenannten CO-Shifts im Synthesegas erhöht. Der CO-Shift erfolgt über eine homogene Wassergasreaktion. Bei dieser Reaktion wird Wasser und Kohlenmonoxid in Wasserstoff und Kohlendioxid umgewandelt. Das Kohlendioxid wird anschließend abgetrennt. Im Anschluss an die Gasreinigung erfolgt der Syntheseschritt. Für den Syntheseschritt stehen zwei Verfahren zur Verfügung, einmal die Fischer-Tropsch (FT)-Synthese und zum anderen das Methanol-to-Gasoline[®]-Verfahren (MtG).

Bei der FT-Synthese werden die erzeugten flüssigen Kohlenwasserstoffe in Schwer-, Mittel- und Leichtfraktionen selektiert. Danach werden diese Fraktionen mittels Blending so veredelt, dass sie die gewünschten Kraftstoffeigenschaften erhalten.

Festzuhalten bleibt aber, dass sich die Herstellung von BtL noch in der Erprobungsphase befindet. Daher können noch keine ökologischen und ökonomischen Aspekte der BtL-Nutzung bilanziert werden. BtL befindet sich zurzeit noch nicht auf dem Markt, sondern wird vielmehr zu Testzwecken produziert und ist daher eher ein experimentelles Produkt. Aus den ersten Tests lässt sich aber ein hohes Potenzial erkennen. Aussagen über die Kosten der BtL-Nutzung lassen sich nur relativ schwer treffen, da BtL weder industriell produziert noch am Treibstoffmarkt gehandelt wird. Die Produktionskosten liegen laut Literatur zwischen 40 Cent und 1,50 Euro pro Liter. Die Erzeugung von BtL erfolgt mit geringer Zufuhr von externer Energie, was zu einer weitgehenden CO_2 Neutralität über den gesamten Produktionsprozess führt. Durch die hohen Kraftstoffträge pro Flächeneinheit und die breite Rohstoffbasis kann durch die Nutzung von BtL erheblich zur Verringerung von Energieimporten beigetragen werden.

3.5 *Elektroantrieb*

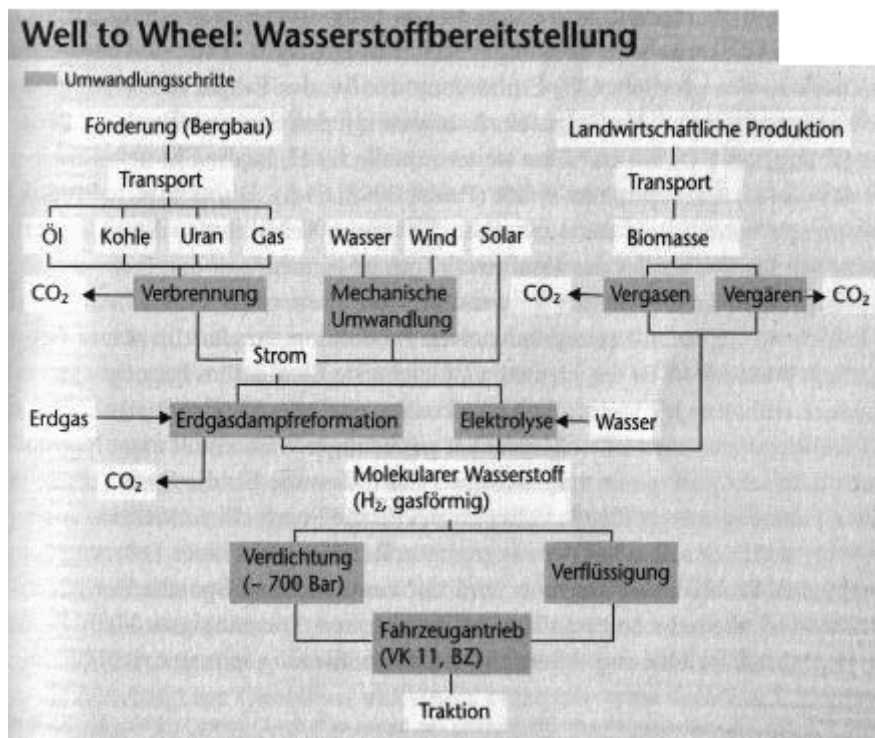
Elektrofahrzeuge müssen Akkumulatoren als Energiespeicher mitführen. Der Antrieb erfolgt durch einen Elektromotor. Um die Akkumulatoren aufzuladen bedarf es einer entsprechenden Stromtankstelle. Elektrofahrzeuge besitzen einen emissionsfreien Antrieb. Dennoch muss man festhalten, dass die Herstellung von Strom über Elektrizitätswerken bisher nicht Emissionsfrei ist. Probleme bereitet bisher die Energiespeicherung in Akkumulatoren (kurz Akkus). Ein Lithium-Ionen-Akkumulator erzeugt die Quellenspannung durch die Verschiebung von Lithium-Ionen. Beim Laden des Akkus wandern positiv geladene Lithium-Ionen durch einen Elektrolyt hindurch während der Ladestrom die Elektronen über den äußeren Stromkreis liefert. Beim Entladen wandern die Lithiumionen zurück in das Metalloxid und die Elektronen können somit über den äußeren Stromkreis zur positiven Elektrode fließen. Das aktive Material der negativen Elektrode eines Lithium-Ionen-Akkus besteht meist aus Graphit. Die positive Elektrode enthält häufig Lithium-Metalloxide in Schichtstruktur wie Lithiumcobaltdioxid, LiNiO_2 oder Spinell LiMn_2O_4 .

Bei dieser Art der Energiespeicherung ist man hinsichtlich der Reichweite noch sehr eingeschränkt und kann mit bisherigen Dieselfahrzeugen nicht in Konkurrenz treten. Grund für die geringere Reichweite ist die geringe Energiedichte der Batterie im Vergleich zu Diesel. Die Energiedichte einer Bleibatterie liegt bei 30 Wh/kg. Im Vergleich dazu hat Diesel eine Energiedichte von 11,74 KWh/kg (11.740 Wh/kg). Somit hat eine 350 kg Bleibatterie die gleiche Energiedichte wie 1 Liter Diesel. Die Batterie mit der höchsten Energiedichte ist die Lithium-Ionen-Batterie mit bis zu 180 Wh/kg. Um einen John Deere Traktor der 8000er Reihe, mit einem Tankinhalt von 681 Litern, mit einer Lithium-Ionen-Batterie anzutreiben hätte diese ein Gesamtgewicht von etwa 44.416 kg. Das Leergewicht eines handelsüblichen Traktors liegt bei etwa 10 t. Somit würde ein Traktor mit Elektroantrieb unter der Voraussetzung einer ähnlichen Kilometerleistung wie ein konventioneller Traktor, ein Leergewicht von rund 50 t aufweisen. Zwar besitzt der Elektroantrieb einen höheren Wirkungsgrad (etwa 40%) als ein Verbrennungsmotor, dennoch wäre das Gesamtgewicht für die Feldarbeit zu hoch. Ein Einsatz unter diesen Voraussetzungen wäre undenkbar. Mögliche Einsatzgebiete für den Elektroantrieb bei Traktoren wäre z.B. die Ausführung von Hofarbeiten. Hierfür wäre auch keine große Batterie notwendig, da sich die Lademöglichkeiten in unmittelbarer Nähe befänden.

3.6 Wasserstoff

Molekularer Wasserstoff kann sowohl in konventionellen Motoren verbrannt als auch in einer Brennstoffzelle in elektrischen Strom umgewandelt werden. Atomarer(H) Wasserstoff ist das am häufigsten vorkommende Element. Zu bedenken ist jedoch, dass atomarer Wasserstoff hoch reaktiv ist und daher fast immer in gebundener Form vorliegt. Als Treibstoff für Brennstoffzellen und Motoren kommt aber nur molekularer Wasserstoff (H_2) infrage. In dieser Form kommt er aber in der Natur praktisch nicht vor. Es ist jedoch möglich, molekularen Wasserstoff durch verschiedene Verfahren industriell herzustellen. Dabei muss allerdings Energie in den Herstellungsprozess einfließen. Molekularer Wasserstoff ist im Vergleich zu fossilen Brennstoffen eher ein Sekundärenergieträger. Er ist als Energiespeicher zu betrachten und ähnelt daher einer Batterie. Die eigentliche Energiegewinnung erfolgt über Primärenergieträger wie etwa Sonnenlicht oder fossiler Brennstoff. Daher gibt es verschiedene Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff. Durch die Zufuhr von Energie in Form von Wärme und Elektrizität wird Wasserstoff aus zahlreichen chemischen Verbindungen extrahiert.

Abb. 5: Wasserstoffaufbereitung



Quelle: T. Puls; Alternative Antriebe und Kraftstoffe – Was bewegt das Auto von morgen?; Deutscher Instituts-Verlag; 2006

Wie in der Grafik ersichtlich kann der Wasserstoff auch auf Basis der in Europa heimischen Rohstoffe wie Kohle, Wasser und Wind produziert werden.

Das bekannteste Verfahren zur Herstellung von H_2 ist die Elektrolyse. Hierbei werden jeweils zwei Wassermoleküle durch Zufuhr von elektrischem Strom in ein Sauerstoffmolekül und zwei Wasserstoffmoleküle zerlegt. Da die Elektrolyse sehr Stromintensiv ist, wird sie derzeit kaum in industriellem Rahmen genutzt. Bisher wird Wasserstoff vor allem über die Erdgasreformation (DER) gewonnen. Allerdings kommt es bei diesem Verfahren zum Verbrauch von fossilem Erdgas und somit zur gleichen CO_2 -Emission wie bei der Erdgasverbrennung. Derzeit liegt die weltweite Produktionsmenge von Wasserstoff zwischen 500 und 600 Milliarden Kubikmetern. In Deutschland werden zwischen 20 – 30 Milliarden m^3 /Jahr hergestellt. Von der gesamten Produktionsmenge werden ungefähr 98% aus fossilem Erdgas gewonnen. Davon kommen nur etwa 4 Prozent in den Handel, der Rest wird umgehend im Produktionsprozess verbraucht, zu einem großen Teil bei der Herstellung von Stickstoffdünger. Betrachtet man den Energieverbrauch des gesamten deutschen Straßenverkehrs, so würde dies den Energiegehalt von 220 Milliarden m^3 Wasserstoff entsprechen.

Ein großes Problem stellt auch die Speicherung von Wasserstoff dar. Wasserstoff hat unter Normaldruck eine sehr geringe Dichte von $0,0899 \text{ kg/m}^3$ bei 273 Kelvin. Um eine konkurrenzfähige Reichweite zu gewährleisten, muss er unter Hochdruck (mindestens 700 bar) in einem Tank gespeichert werden. Der Energieaufwand für die Komprimierung auf 700 bar beträgt ca. 12% des Energiegehaltes des Wasserstoffs. Die Energiedichte von gasförmigem Wasserstoff beträgt 37 KWh/kg. Somit müsste ein John Deere Traktor der 8000er Baureihe 216 kg gasförmigen Wasserstoff tanken um die gleiche Reichweite wie mit Dieselkraftstoff zu erlangen.

Bei flüssigem Wasserstoff ist die Speicherung eine technische Herausforderung, da zur Erhaltung dieses Aggregatzustandes eine Temperatur von -273 °C vorherrschen muss. Außerdem muss ein solcher Wasserstoffspeicher aus sehr komplexen Materialien bestehen, da Wasserstoff die meisten Stahlsorten versprödet und im Laufe der Zeit durch sie hindurch diffundieren würde. Die Dichte von flüssigem Wasserstoff beträgt 71 kg/m^3 . Seine Energiedichte liegt mit 33,3 KWh/kg etwas niedriger als die von gasförmigem. Somit müsste ein John Deere Traktor der 8000er Baureihe etwa 240 kg gasförmigen Wasserstoff tanken um die gleiche Reichweite wie mit Dieselkraftstoff zu erlangen. Gegen Flüssigwasserstoff sprechen aber die hohen Bereitstellungskosten und die hohen energetischen Kosten.

Von der Ökobilanz des reinen Fahrbetriebs ist Wasserstoff unschlagbar, weil beim Verbrennen im Motor oder bei der Umwandlung in Strom durch die Brennstoffzelle keine Treibhausgase oder Luftschadstoffe entstehen. Betrachtet werden muss auch der Primärenergieträger. Denn nur wenn diese aus erneuerbaren Energien gewonnen werden, ist der Wasserstoff auch

wirklich Ökologisch sinnvoll. In der Einführungsphase wird man auf Wasserstoff zurück greifen müssen, der mit ökologisch deutlich weniger vorteilhaften Methoden hergestellt wird. Für die nächsten 10 Jahre ist bei der Verwendung von Wasserstoff jedoch keine Verbesserung der Klimabilanz zu erwarten.

Bei der Verbrennung von Wasserstoff im Motor geht man von einem Wirkungsgrad von etwa 50 Prozent aus. Bei der Brennstoffzelle liegt dieser Wert bei bis zu 70 Prozent. Die spezifischen Wasserstoffkosten werden zurzeit bei der Nutzung von Erdgasdampfpreformation auf etwa 1,80 €/l Benzinäquivalent und bei der Verwendung der Elektrolyse auf etwa 2,80 €/l Benzinäquivalent geschätzt.

Wenn man nur die Effizienz betrachtet, ist Wasserstoff noch keine echte Alternative zu konventionellen Kraftstoffen. Mit der heutigen Technik führt die Verwendung von Wasserstoff als Treibstoff nur dann zu geringeren CO₂-Emissionen, wenn der bereitgestellte Strom nur aus regenerativen Quellen stammt. Legt man hingegen den heutigen Strommix zugrunde, würde Wasserstoff in der Betrachtung von der Herstellung bis zum Antrieb des Fahrzeuges deutlich mehr Treibhausgase emittieren als konventioneller Kraftstoff. Somit hängt der positive ökologische Effekt untrennbar mit dem Strommix der Prozesskette zusammen. Selbst wenn der Anteil des Stroms aus regenerativen Energien signifikant steigt, sprechen die Effizienzbetrachtung und alle Kostenabschätzungen immer noch gegen die Herstellung von Wasserstoff. Obwohl aus jetziger Sicht vieles gegen Wasserstoff spricht, hat er von allen alternativen Kraftstoffen die besten Chancen in Zukunft den konventionellen Treibstoff abzulösen. Ein großer Vorteil ist das Wasserstoff praktisch ohne jede Umweltbelastung bereitgestellt und verwendet werden kann. Wasserstoff kann praktisch in unbegrenzter Menge zur Verfügung gestellt werden. Wenn dieses Wasserstoffsystem erst einmal etabliert ist wird nie mehr der Zwang bestehen, eine Alternative zu suchen, da das Wasserstoffvorkommen in für uns unerschöpfbaren Mengen vorliegt.

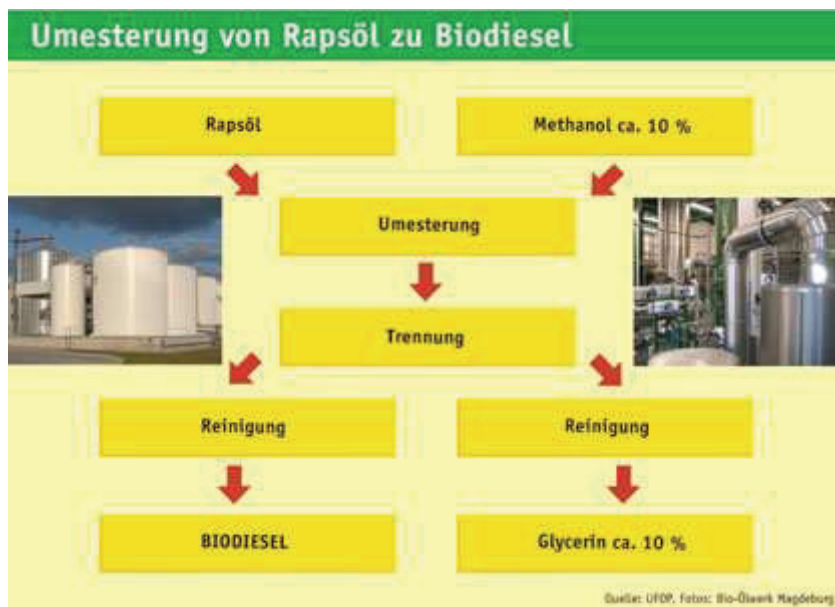
3.7 *Biodiesel*

Biodiesel wird aus pflanzlichen und tierischen Fetten gewonnen. Chemisch betrachtet handelt es sich um einen Fettsäuremethylester. Wenn man es recht betrachtet, ist handelsüblicher Biodiesel ein an die Bedürfnisse der Motorentechnologie angepasstes Pflanzenöl. In seiner Viskosität und seinem Zündverhalten ähnelt er konventionellem Diesel. Im Gegensatz zum fossilen Kraftstoff ist Biodiesel von Natur aus schwefelfrei. Außerdem enthält er weder Benzol noch andere Aromaten und ist biologisch abbaubar. Biodiesel ist aber chemisch aggressiver als konventioneller Diesel und führt daher in Reinform zur Zerstörung von Dichtungsmat-

terialien in Motoren. Außerdem kann es durch Ablagerungen von Glycerin zu Beschädigungen der Einspritz-Pumpe kommen. Auch wirkt sich ein zu hoher Wassergehalt negativ aus, weil er bei Kälte den Kraftstofffilter verstopft. Zu Verstopfungen des Filters kommt es auch durch die Ablagerung von Alkali. Durch den relativ hohen Sauerstoffgehalt (etwa 11%) reduzieren sich die Russ-Emissionen gegenüber herkömmlichem Dieselkraftstoff. Da Biodiesel biologisch abbaubar ist gefährdet er bei Unfällen nicht den Boden. Unter normalen Bedingungen werden innerhalb von 28 Tagen 99% des Biodiesels durch Mikroorganismen „aufgefressen“. Die Energiedichte von Biodiesel liegt bei 8,9 kWh/l.

Bei der Herstellung von Biodiesel aus pflanzlichen Fetten könne nur die ölhaltigen Pflanzenteile genutzt werden, um Pflanzenöl zu pressen. Zu den wichtigsten Ölpflanzen zählen Ölpalme, Soja und Raps. In Europa spielt nur der Raps eine Rolle. Die einzelnen Pflanzenöle unterscheiden sich nur in der Länge der Kohlenwasserstoff-Ketten und der Anzahl ihrer Doppelbindungen. Die Öle bestehen aus Glycerin als Grundträger und den an ihm angelagerten Fettsäure-Molekülen, die sich unter Abspaltung von Wasser mit dem Glycerin verbunden haben. Der Rest sind freie Fettsäuren, geringe Schwefelanteile, Phosphorverbindungen, Vitamine und Wasser. Beim Rapsöl ist das Glycerin-Molekül an drei lange Fettsäure-Ketten gebunden, welche bei der Umesterung mit Methanol reagieren.

Abb. 6: Umesterung von Rapsöl zu Biodiesel



Quelle: <http://www.bio-kraftstoffe.info/kraftstoffe/biodiesel/herstellung.html>

Das Hauptziel der Umesterung ist die Verringerung der Viskosität von etwa 60 auf 4 mm²/sec. Der Katalysator für diese Reaktion kann zum Beispiel 0,5 prozentige Natronlauge

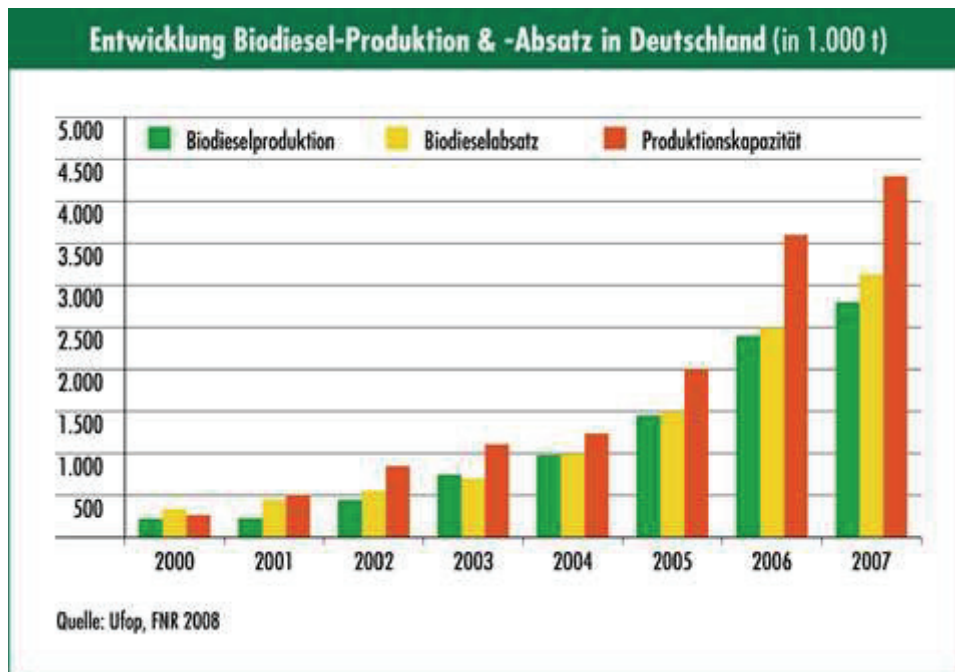
sein. Dabei wird das langkettige, verzweigte Molekül gegen drei einzelne kürzere Moleküle ausgetauscht. Es entsteht Fettsäure-Methylester bzw. Bio-Diesel. Häufig wird auch die Bezeichnung Raps-Methylester (RME) verwandt. In der EU-25 hat RME einen Marktanteil bei den alternativen Kraftstoffen von 80 Prozent bei einer Jahresproduktion für 2008 von 2.695.000 Tonnen. Vor allem wurde der RME-Boom der letzten Jahre ausgelöst weil die Kraftstoffqualität stark verbessert wurde und die Untermischungsverordnung in Kraft getreten ist. Seit Februar 2009 darf laut Dieselnorm die Beimischung von Biodiesel bis zu 7% betragen.

Hinsichtlich der Treibhausgasemission besteht ein geringer Emissionsvorteil gegenüber fossilem Diesel. Laut WTW-Analyse beträgt dieser Emissionsvorteil zwischen 0,5 bis 3 Tonnen CO_{2eq} pro Hektar. Der eher geringe Wert hängt vor allem mit dem Herstellungsprozess zusammen. Problematisch ist, dass für die Produktion von RME benötigtes Methanol heutzutage zu 90 Prozent aus fossilem Erdgas hergestellt wird. Ein anderer Grund ist die Entstehung von klimaschädlichem Lachgas (N₂O) beim Rapsanbau. Bei der Stickstoffdüngung entstehen pro eingesetzten Kilogramm Stickstoff etwa 12 Gramm N₂O, was aufgrund des hohen Klimapotenzials von Lachgas einer CO₂-Emission zwischen 1,8 und 3,5 Kilogramm entspricht. Das Umweltbundesamt gibt das Treibhausgaseinsparungspotenzial gegenüber Dieselkraftstoff mit 20 bis 80 Prozent an. Die Bandbreite richtet sich nach der Lachgasemission und der Nutzung der Koppelprodukte.

Festzustellen ist, dass Biodiesel in den letzten Jahren einige ökologische Vorteile gegenüber fossilem Dieselkraftstoff eingebüßt hat. Da auch fossiler Diesel mittlerweile weitgehend schwefelfrei ist, sind die Vorteile bei den SO₂-Emissionen nahezu verschwunden. Die bestehenden Vorteile bei den Partikelemissionen von fast 50 Prozent fallen im Zuge der zunehmenden Verbreitung von Partikelfiltern nicht mehr ins Gewicht. Wenn man die Klimafolgen eines Kraftstoffes höher bewertet als die weiteren Umweltauswirkungen hätte RME einen kleinen ökologischen Vorteil gegenüber konventionellem Diesel.

Biodiesel ist bisher der einzige Biokraftstoff für den eine ausgeprägte Infrastruktur besteht. Im Jahr 2008 lag der Anteil am Kraftstoffmarkt bei 4,5 Prozent was 2,7 Millionen Tonnen entspricht. Davon wurden etwa 1,35 Millionen Tonnen (40%) an Betreiber größerer Fahrzeugflotten und Speditionen mit eigener Tankeinrichtung abgesetzt.

Abb. 7: Entwicklung Biodiesel-Produktion & -Absatz in Deutschland



Quelle: <http://www.bio-kraftstoffe.info/kraftstoffe/biodiesel/verbreitung-tankstellen.html>

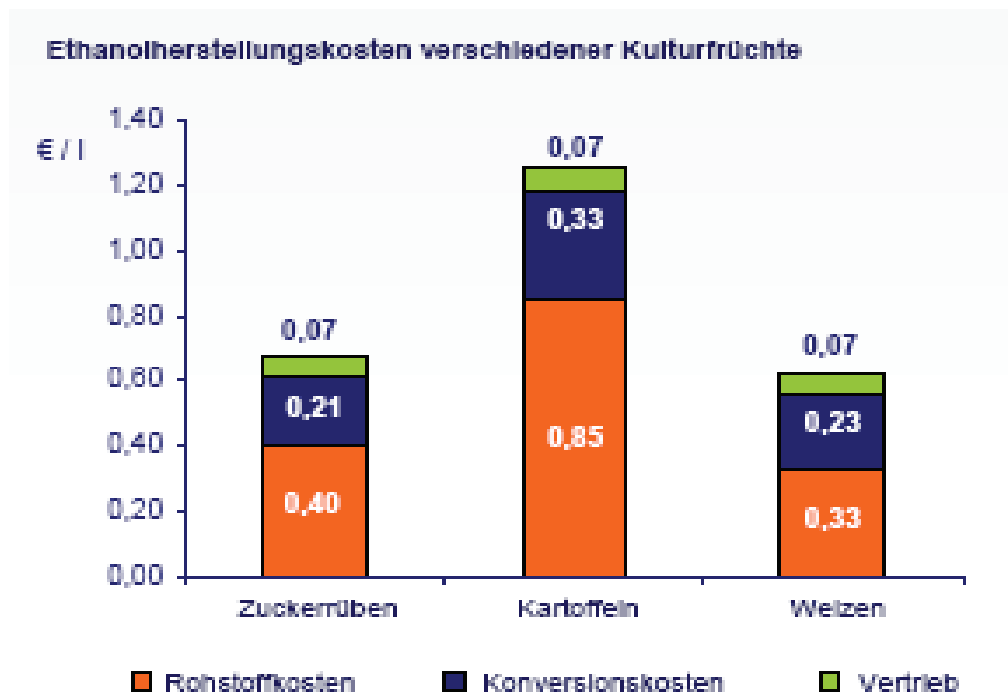
RME hat das mit Abstand dichteste Tankstellennetz mit bisher etwa 1.900 Tankstellen. Durch die Untermischung in normalem Diesel ist der Biodiesel inzwischen praktisch in jedem Dieselfahrzeug präsent. Daher fallen die Kosten für einen Ausbau der Versorgungsinfrastruktur eher gering aus. Die Bereitstellungskosten für Biodiesel liegen zwischen 70 Cent und 1 Euro pro Liter. Die Bereitstellungskosten von fossilem Diesel liegen bei etwa 43 Cent vor Steuern und somit wesentlich geringer als für Biodiesel. Der Preisvorteil von Biodiesel liegt unter anderem an der noch geltenden Steuerbefreiung für Biodiesel, denn der Steueranteil am Dieselpreis liegt bei über 60 Prozent. Außerdem wird auch der Rapsanbau in Europa mit einer Flächenprämie subventioniert. Sollte es zum Wegfall dieser Vorteile kommen ist es fraglich ob sich RME weiter am Markt halten kann, weil das Kostensenkungspotenzial in der Literatur als eher gering eingeschätzt wird. Betrachtet man den Nettoenergiegewinn so können zwischen 1.500 und 1.900 Öleinheiten je Hektar produziert werden. Die möglichen Flächen für die Produktion sind in Deutschland sehr leicht abzuschätzen. Im Jahr 2005 wurden in Deutschland knapp 1,3 Millionen Hektar mit Raps bestellt, was knapp 10 Prozent der Gesamtackerfläche entspricht. Da Raps eine anspruchsvolle Pflanze ist und in einem mehrjährigen Fruchtwechsel angebaut werden muss, ist ihre tatsächliche Anbaufläche stark eingeschränkt. Die Mögliche Anbaufläche liegt zwischen drei bis vier Millionen Hektar. Wenn die Anbaufläche für RME maximal ausgedehnt wird kann er 2,5 bis 3 Prozent des derzeitigen Treibstoffverbrauchs am Gesamtbedarf decken. Gemessen an den dafür nötigen Einsatz an Ressourcen und Förderung

ist der RME-Einsatz doch relativ ineffizient. Somit spricht das Substitutionspotenzial gegen den großflächigen Einsatz von RME. Jedoch bleibt festzuhalten, dass Biodiesel aus heimischen Rohstoffen hergestellt werden kann und somit einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leistet. Effektiver ist hingegen die afrikanische Ölpalme, welche etwa die zehnfache Ölmenge pro Hektar bringt als die hier heimischen Ölpflanzen. Wenn man alle Aspekte betrachtet vereinigt RME geringe ökologische Potenziale mit nicht marktfähigen Bereitstellungskosten. Biodiesel kann maximal dafür genutzt werden, um die Reichweite der Erdölreserven zu steigern. Für einen echten Kraftstoff der Zukunft sind die Potenziale von RME eigentlich zu gering.

4 *Kostenbetrachtung*

Ausschlaggebend für den Einsatz alternativer Kraftstoffe ist nicht nur die praktische Anwendung in der Landwirtschaft ohne Einbußen von Leistung oder Reichweite gegenüber Dieselmotoren, sondern vor allem die Kosten für deren Beschaffung. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht macht es nur Sinn neue Antriebskonzepte zu übernehmen, wenn sie zum Vorteil innerhalb des Unternehmens führen.

Abb. 8: Ethanolherstellungskosten verschiedener Kulturfrüchte



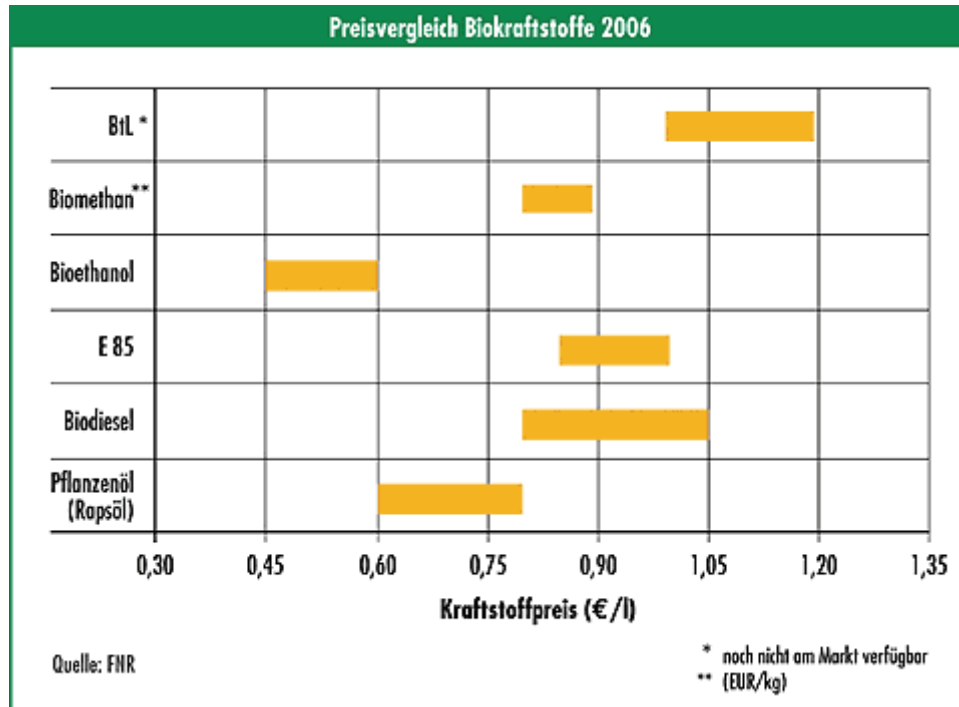
Quelle: <https://www.uni-hohenheim.de/i410b/download/gewisola/posters/putensen.pdf>

Betrachtet man die Herstellungskosten für die Ethanolherzeugung aus Kartoffeln, Weizen und Zuckerrüben in Deutschland zeigt sich, dass die Produktion aus Kartoffeln eher unökonomisch ist. Die Produktionskosten pro Tonne Kartoffeln sind mehr als doppelt so hoch wie bei Zuckerrüben. Begründet ist dies durch die hohen Kosten des Saatgutes und die Lagerkosten für Kartoffeln. Die geringsten Herstellungskosten weist mit 0,62 €/l Weizen auf. Da Weizen aber im Nahrungsmittel- und Futtermittelsektor bisher eine große Rolle spielt, würde es zur direkten Marktkonkurrenz kommen und eine Preissteigerung herauf beschwören. Daher kommt für die Ethanolproduktion in Deutschland nur die Zuckerrübe in Frage.

Mit Abstand der billigste ist Bioethanol mit einem Abgabepreis zwischen 0,45 und 0,60 €/l. Danach folgt Pflanzenöl mit einer Preisspanne von 0,60 €/l bis 0,80 €/l. Im gleichen Preis-

segment bewegen sich Biomethan und Biodiesel die ab etwa 0,80 €/l zu bekommen sind. Das noch nicht am Markt gehandelte BtL wird voraussichtlich einen Preis ab 1 €/l haben.

Abb. 9: Preisvergleich Biokraftstoffe 2006



Quelle: <http://www.bio-kraftstoffe.info/daten-und-fakten/kosten-und-preise.html>

Der aktuelle Dieselpreis beträgt etwa 1,05 €. Um nun die möglichen Treibstoffe mit einander vergleichen zu können, muss man ihren Heizwert näher betrachten. Jeder Kraftstoff besitzt einen unterschiedlichen Heizwert der ihm gegenüber Diesel einen Vor- oder Nachteil bringt. Aus dem Heizwert, dem daraus resultierenden Dieseläquivalent und dem Preis für einen alternativen Kraftstoff ergibt sich sein Preis gegenüber Diesel bei gleicher Leistung.

Tabelle 5: Preise für verschiedene Kraftstoffe

	Heizwert	Preis (Optimistisch)	Preis (Pessimistisch)	Dieseläquivalent*
BtL	33,45 MJ/l	1,00 €	1,20 €	0,96 Liter
Biomethanol	15,56 MJ/l	0,60 €	0,80 €	0,44 Liter
Bioethanol	21,06 MJ/l	0,45 €	0,60 €	0,60 Liter
Biodiesel	32,65 MJ/l	0,80 €	1,05 €	0,93 Liter
Pflanzenöl (Rapsöl)	34,59 MJ/l	0,60 €	0,80 €	0,99 Liter
Wasserstoff	1,92 MJ/l	0,50 €	0,70 €	0,05 Liter
Biomethan	36 MJ/l	0,80 €	0,90 €	1,03 Liter
konventioneller Diesel	35 MJ/l	1,00 €	1,30 €	1,00 Liter

	Preisäquivalent (Optimistisch)	Preisäquivalent (Pessimistisch)
BtL	1,05 €	1,26 €
Biomethanol	1,35 €	1,80 €
Bioethanol	0,75 €	1,00 €
Biodiesel	0,86 €	1,13 €
Pflanzenöl (Rapsöl)	0,61 €	0,81 €
Wasserstoff	9,11 €	12,76 €
Biomethan	0,78 €	0,88 €
konventioneller Diesel	1,00 €	1,30 €

*Heizwert Diesel: 35 MJ/l

Quelle: eigene Berechnung

Bezieht man sich auf die von der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe ermittelten Kraftstoffpreise, so könnte man sagen, dass Biomass-to-Liquid, Bioethanol, Biodiesel, Pflanzenöl und Biomethan konkurrenzfähig gegenüber Diesel sind. Dieser Vorteil besteht aber vor allem durch die Steuerbefreiung bei alternativen Kraftstoffen. Würde man den Preis für fossilen Diesel ohne Steuern betrachten, so lege dieser bei etwa 45 Cent. Somit bleibt noch ein großer Entwicklungssprung für Biokraftstoffe, um unter gleichen Bedingungen mit Diesel in Konkurrenz treten zu können. Natürlich ist es gut wenn die Regierung eines Landes bereit ist auf Steuereinnahmen zu verzichten, um einen innovativen und zukunftsorientierten Sektor zu fördern, doch bleibt jetzt schon festzuhalten, dass nicht alle Kraftstoffe den Sprung zur Marktreife schaffen werden. Die Gründe hierfür sind vielfältig und neben wirtschaftlichen Gründen auch häufig aus Umweltaspekten betrachtet nicht tragbar. Betrachtet man Pflanzenöl als potentiellen Kraftstoff, so erkennt man, dass die Nachfrage schon jetzt nur durch den Import von Palmöl aus Malaysia und anderen Niedrig-Lohn-Ländern gedeckt werden kann. Es ist nicht Sinn und Zweck der Sache Rohstoffe über zehntausende von Kilometern per Schiff zu transportieren und dabei Unmengen von Schiffsdiesel zu verbrauchen und gleichzeitig durch die hierbei entstehenden CO₂-Emmisionen weiter zur Klimaerwärmung bei zu tragen. Jedes Land hat Kapazitäten für bestimmte Biokraftstoffe und sollte auch nur darauf seine Entwicklung im Energiesektor ausrichten.

5 *Mengenbetrachtung*

Alternative Treibstoffe werden weltweit gehandelt und es gibt Länder die sich auf den Export von Kraftstoffen aus pflanzlichen Rohstoffen (Indonesien exportiert Pflanzenöl) spezialisiert haben. Da solche globalen Transporte über den Seeweg zum Nachfragehoch auf dem Rohölsektor beitragen, ist es nicht sinnvoll diesen Prozess weiter zu fördern. Um sich von solchen Importen unabhängig zu machen ist es notwendig zu prüfen welche Mengen an alternativen Kraftstoffen im eigenen Land produziert werden können. In Deutschland stehen zurzeit etwa 12 Millionen Hektar als Ackerfläche zur Verfügung. Davon wurden im Jahr 2006 etwa 1,4 Millionen Hektar für die Erzeugung erneuerbarer Energien verwendet. Nach Fritsche (Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, 2004) wird die Obergrenze bis 2030 auf maximal 3,9 Millionen Hektar anwachsen. Die höchstmögliche Anbaufläche für Ölpflanzen liegt aufgrund von Fruchtfolgerestriktionen bei 3 Millionen Hektar.

In Tabelle 6 wurden die durchschnittlichen Erträge pro Jahr und die Energiemenge der Treibstoffe pro Hektar festgehalten. Auf Grundlage dieser Daten und der maximalen Anbauflächen laut Fritsche (2004) ergeben sich die Energiewerte pro Jahr und die maximalen Erträge pro Hektar. Den höchsten Energiegehalt pro Hektar weist Biomethan mit 48,99 MWh auf. Den mit Abstand niedrigsten Wert besitzt aus Holz erzeugtes Bioethanol.

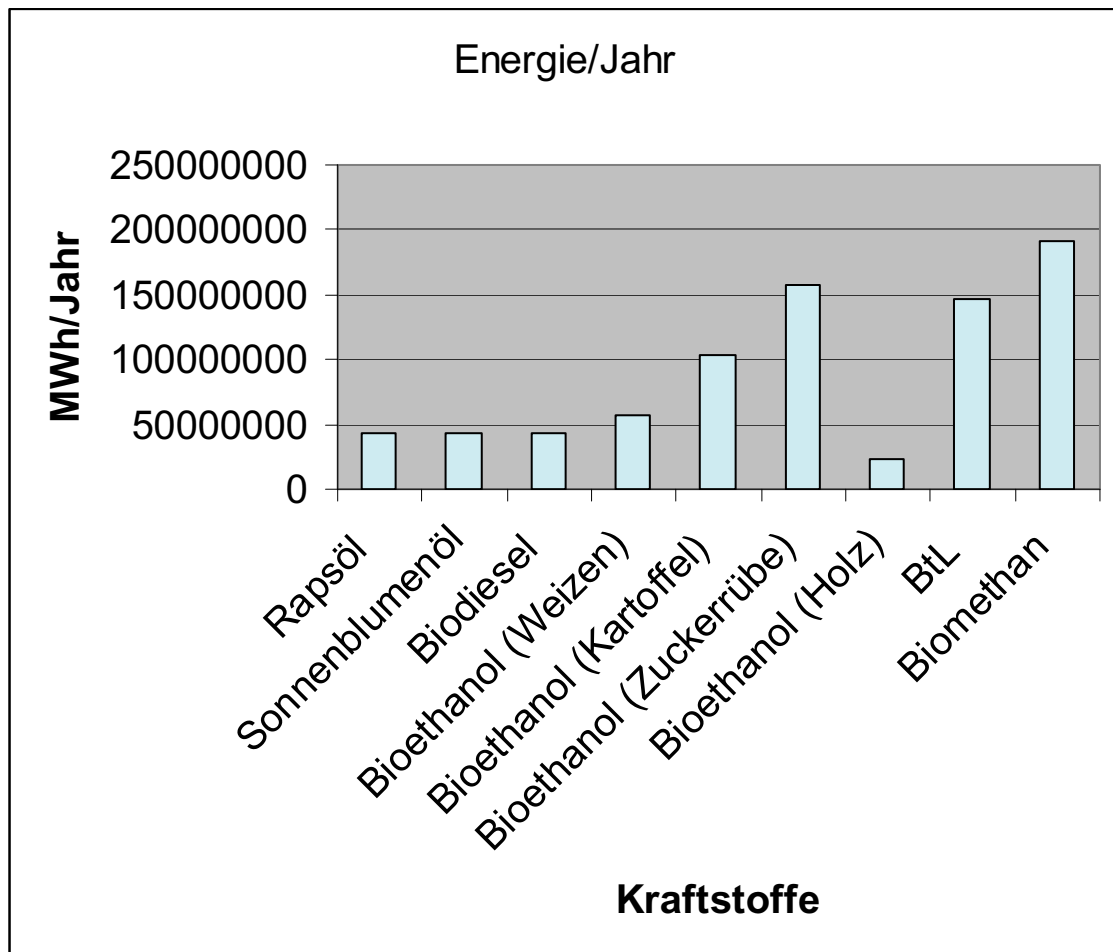
Tabelle 6: Energieertrag verschiedener Kraftstoffe

Kraftstoff	Ertrag/Jahr	Energie/Fläche	Maximale Anbaufläche	Energie/Jahr in MWh/a	Maximaler Ertrag
Rapsöl	1479 l/ha	14,16 MWh/ha	3.000.000 ha	42.480.000	4.437.000.000 l/a
Sonnenblumenöl	1479 l/ha	14,16 MWh/ha	3.000.000 ha	42.480.000	4.437.000.000 l/a
Biodiesel	1547 l/ha	14,22 MWh/ha	3.000.000 ha	42.660.000	4.641.000.000 l/a
Bioethanol (Weizen)	653,4 l/ha	14,67 MWh/ha	3.900.000 ha	57.213.000	2.548.260.000 l/a
Bioethanol (Kartoffel)	281,24 l/ha	26,4 MWh/ha	3.900.000 ha	102.960.000	1.096.836.000 l/a
Bioethanol (Zuckerrübe)	486 l/ha	40,2 MWh/ha	3.900.000 ha	156.780.000	1.895.400.000 l/a
Bioethanol (Holz)	985 l/ha	5,83 MWh/ha	3.900.000 ha	22.737.000	3.841.500.000 l/a
BtL	4030 l/ha	37,5 MWh/ha	3.900.000 ha	146.250.000	15.717.000.000 l/a
Biomethan	35,4 dt/ha	48,99 MWh/ha	3.900.000 ha	191.061.000	138.060.000 dt/a

Quelle: eigene Berechnung

Betrachtet man auf Grundlage der maximalen Anbaufläche nun die produzierte Energiemenge pro Jahr, so zeichnet sich ein identisches Bild bei den Pflanzenölen ab. Diese stellen hinter Bioethanol aus Holz die geringsten Energiemengen dar. Als potenzielle Biokraftstoffe der Zukunft kommen Biomethan, BtL und Bioethanol aus Zuckerrohr in Frage. Sie stellen mit Abstand die höchstmöglichen Werte dieser Stoffe dar.

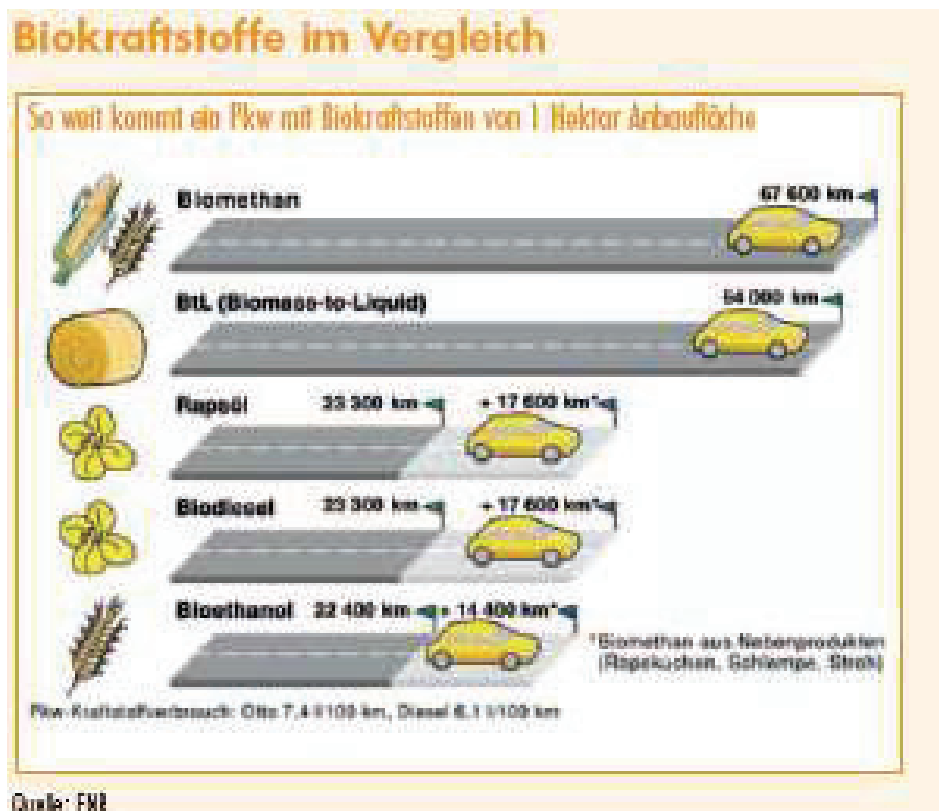
Abb. 10: Energie in MWh pro Jahr



Quelle: eigene Berechnung

In der Abbildung 10 wird aufgezeigt, dass Rapsöl, Biodiesel und Bioethanol gegenüber Biomethan und Biomass-to-Liquid einen erheblichen Nachteil hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit bei gleicher Anbaufläche haben. Dieser Nachteil macht bei der hier angeführten Betrachtung einen Anteil von bis zu 66,9% aus. Sieht man sich die mögliche Reichweite mit einem Bioethanol-betriebenen PKW an, so ist festzustellen, dass man mit einem Biomethan-betriebenen PKW mehr als dreimal soviel Kilometer zurücklegen kann. Somit sollte die Entwicklungsrichtung im Biotreibstoffsektor in die Bereiche Biomass-to-Liquid und Biomethan geführt werden.

Abb. 11: Biokraftstoffe im Vergleich

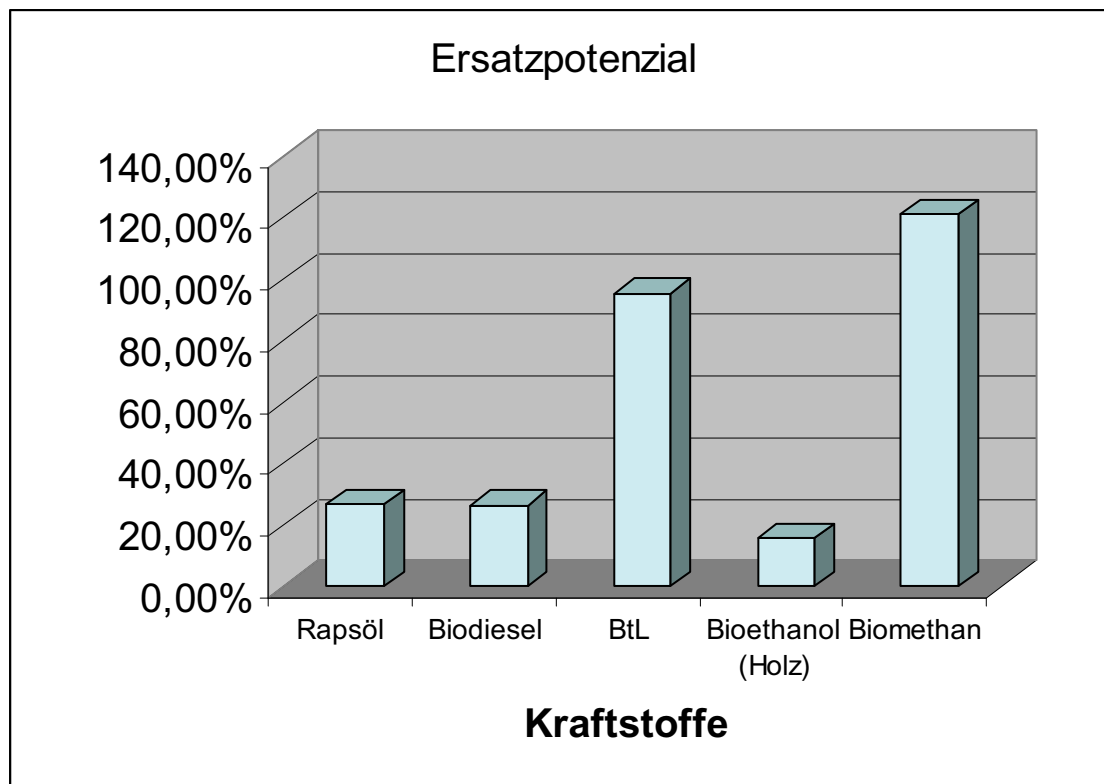


Quelle: http://www.fnr.server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174_basisdaten_biokraftstoff_freigabe.pdf

Es macht wenig Sinn alternative Treibstoffe zu fördern die keine Perspektive im zukünftigen Verkehrssektor haben werden, weil ihr Potenzial und ihre Entwicklungsmöglichkeiten zu gering sind. Vielmehr muss das Augenmerk auf Kraftstoffe mit hohem Leistungspotenzial gelegt werden, welche realistische Marktchancen haben und aus betriebswirtschaftlicher Sicht eine Alternative zum konventionellen Diesel bieten.

Nimmt man die nach Fritsche für das Jahr 2030 prognostizierten maximalen Anbauflächen für erneuerbare Energien und rechnet auf Grundlage von Tabelle 2 und 6 die Gesamtdieseläquivalenzmenge aus, so kann man mit dem in Kapitel 2 berechneten Gesamtkraftstoffbedarf für Traktoren in Deutschland errechnen wie viel fossiler Diesel von den erneuerbaren Treibstoffen ersetzt werden kann. Das Potenzial (Abbildung 12) von Biomass-to-Liquid und Biomethan ist erstaunlich hoch und zeigt das diese Kraftstoffe in Zukunft in der Lage sein werden, zumindest im landwirtschaftlichen Maschinenbereich, den konventionellen Diesel zu ersetzen. Die Darstellung geht von einer maximalen Anbaufläche für jede einzelne Energieform aus. Somit erreicht nur Biomethan den vollwertigen Ersatz von Diesel.

Abb. 12: Ersatzpotenzial von erneuerbaren Energien



Quelle: eigene Darstellung (Ermittlungsgrundlage Anlage 1)

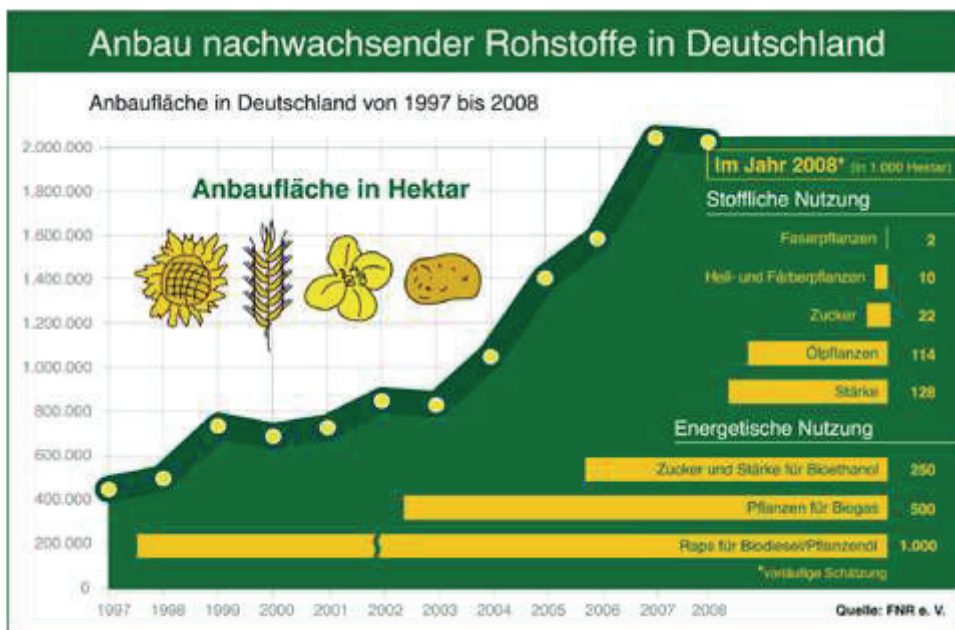
Man muss aber bedenken, dass die maximale Anbaufläche einem Szenario von Fritsche für das Jahr 2030 entspricht. Momentan wird nur etwa 1/3 dieser Anbaufläche mit Pflanzen für die Erzeugung von Kraftstoffen bestellt. Daher ist Deutschland zum heutigen Zeitpunkt noch nicht in der Lage Diesel durch alternative Kraftstoffe zu ersetzen. Die Ergebnisse zeigen aber, dass dies in Zukunft möglich sein wird. Das Potenzial für Rapsöl, Biodiesel und Bioethanol ist zu gering und sollte daher aus dem Fokus der Betrachtung genommen werden. Wann die erneuerbaren Kraftstoffe zur echten Konkurrenz für Diesel werden, wird aber nicht vom Potenzial der Produktionsmenge, sondern vom Preisunterschied zwischen erneuerbaren und fossilen Kraftstoffen abhängig sein.

6 *Konfliktpotenzial zwischen der Kraftstoffproduktion und der Welternährung*

Das Thema Flächenkonkurrenz zwischen der Nahrungsmittelproduktion und der Kraftstoffproduktion umfasst einen sehr großen Konfliktbereich und soll daher hier nur kurz erwähnt werden.

Die Erzeugung von alternativen Kraftstoffen erfolgt in der EU und somit auch in Deutschland auf bereits bestehenden Ackerflächen, auf denen vorher Nahrungsmittel für Mensch und Tier produziert wurden. Dadurch tritt der Anbau von Rohstoffen zur Erzeugung von Biokraftstoffen in direkter Konkurrenz mit der Lebensmittelproduktion. Dabei ist auch zu bedenken, dass die landwirtschaftlich nutzbare Fläche zurück geht. Ursachen hierfür sind die Umwandlung in Naturschutzgebiete, die Bebauung in Form von Siedlungen und Straßen, der Ausbau von Hochwasserschutzgebieten und der Ausbau des Ökolandbaus. Durch die Knappheit an Ackerflächen für die Erzeugung alternativer Kraftstoffe im eigenen Land, kommt es zu vermehrten Importen aus anderen Ländern. Diese Länder sind im Pflanzenölbereich vor allem Malaysia und Indonesien. Um den steigenden Export zu befriedigen müssen in diesen Ländern stetig neue Anbauflächen geschaffen werden. Die Gewinnung solcher Flächen erfolgt durch die Umwandlung von Nahrungsmittelanbauflächen und durch die Rodung von Wäldern. Eine Mitschuld für solche Maßnahmen hat der europäische Markt, der 90% dieses dort produzierten Palmöls importiert. Ähnliche Eingriffe in Landschaftsraum tätigt Brasilien, um seine Anbauflächen für die Zuckerrohr-, Soja- und Palmölproduktion zu erweitern. Brasilien verfolgt diese Maßnahmen schon seit vielen Jahren. Ziel dieser Politik ist es sich unabhängig vom Rohölmarkt zu machen und seinen Bedarf an Treibstoff aus einheimischen Rohstoffen decken zu können. Durch diese Anbaupolitik kommt es zur Knappheit von Nahrungsmittelanbauflächen und zu einer Abhängigkeit von anderen Ländern durch einen vermehrten Import von Lebensmitteln. Durch eine solche Verknappung und der Importabhängigkeit kommt es zum Anstieg der Lebensmittelpreise in den betroffenen Ländern. Eine Politik wie diese, führt unweigerlich zur Armut und zum Hunger der Bevölkerung. Daher ist es immens wichtig schon im Vorfeld abzuschätzen, wie groß die möglichen Anbauflächen sind die für die Treibstoffproduktion infrage kommen, ohne die Lebensmittelproduktion in zu starkem Maße einzuschränken.

Abb. 13: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland



Quelle: <http://www.bio-kraftstoffe.info/daten-und-fakten.html>

Die möglichen Anbauflächen sind in Deutschland aufgrund seiner hohen Bevölkerungsdichte sehr beschränkt. Flächenschaffungen durch Rodungen, wie in Brasilien oder Malaysia, sind wegen der Umweltpolitik und des Naturschutzes in Deutschland nicht möglich. Es wäre auch die falsche Maßnahme für eine nachhaltige Energieversorgung. Laut Abbildung 11 wurde alleine für die Biodiesel- und Pflanzenölproduktion aus Raps etwa 1 Mio. Hektar im Jahr 2008 bewirtschaftet. Das sind alleine 50 Prozent der gesamten Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe. Danach folgen mit 500.000 Hektar Pflanzen zur Biogas Gewinnung und weitere 250.000 Hektar zur Bioethanolerzeugung aus stärke- und zuckerhaltigen Pflanzen.

7 *Aktuelle Traktoren mit alternativen Antrieben*

New Holland hat sich der Entwicklung eines Wasserstoffbetriebenen Traktors verschrieben. Dieser Traktor basiert auf dem Modell T6000. Die aus dem Traktor entfernten Teile sind der Dieseltank, der Verbrennungsmotor, der Auspuff und das Getriebe. Hinzugekommen sind dafür ein Wasserstofftank, das Brennstoffzellen-System, der Elektromotor für den Fahrbetrieb und ein weiterer Elektromotor für die Zapfwelle und Ölpumpe.

Abb. 14: NH²TM-Traktor von New Holland mit 75 kW (106 PS)



http://agriculture.newholland.com/germany/de/WNH/hydrogen/Documents/NH_90014_DOO.pdf

Die Vorteile dieses Konzeptes sind höherer Komfort für den Fahrer durch den Wegfall der Lärmemissionen, keine Schadstoffemissionen, keine Leistungsverluste durch den Wegfall der Zahnräder und die Antriebsleistung erfolgt je nach Bedarf. Sein Arbeitsbereich wird aber auf Hofarbeiten beschränkt bleiben, da zu große Wasserstofftanks nötig wären um eine ausreichende Reichweite zu erlangen.

Die Firma Fendt verschrieb sich der Entwicklung eines Pflanzenölbetriebenen Traktors. Betrieben wird dieser Traktor über ein Zweitank-System. Hierbei erfolgt der Betrieb mit zwei Kraftstoffen und zwar Diesel und Pflanzenöl. Gestartet wird der Motor mit Dieseldieselkraftstoff. Wenn der Motor seine Betriebstemperatur erreicht hat, schaltet das System automatisch auf den Pflanzenölbetrieb um. Soll der Motor für längere Zeit ausgeschaltet bleiben, muss rechtzeitig wieder zurück auf Dieseldieselkraftstoff geschaltet werden. Sollten während des Betriebes die

Brennraumtemperatur nicht ausreichend sein, so wird automatisch zurück auf Diesel geschaltet.

Auch die Firma John Deere dachte über die Möglichkeiten zu Senkung des Kraftstoffverbrauchs nach und entwickelte Hybridsystem für Traktoren. Alle Firmen sind bestrebt den Dieserverbrauch ihrer Fahrzeuge zu senken, weil die Nachfrage nach solchen Konzepten stetig steigt. Jeder landwirtschaftliche Betrieb versucht Kosten innerhalb des Unternehmens zu senken und ein sehr großer Kostenfaktor ist der Diesel.

Zu erkennen ist eine klare Entwicklung hin zu Kraftstoffsparenden Maschinen. Bisher hat nur New Holland einen Prototyp der völlig ohne konventionellen Kraftstoff auskommt. Doch bis es zur Serienreife solcher Traktoren kommt wird noch einige Zeit vergehen.

8 *Zusammenfassung*

In den nächsten Jahrzehnten wird es zu einem Engpass in der Versorgung mit fossilen Kraftstoffen kommen. Durch diesen Nachfrageüberhang wird es zur gravierenden Preissteigerung auf dem konventionellen Kraftstoffmarkt kommen. Um in der Landwirtschaft weiter wirtschaftlich arbeiten zu können, wird es nötig sein sich neuen Antriebsquellen für Landmaschinen zu öffnen. Aus diesem Grund wurde untersucht welche möglichen erneuerbaren Treibstoffe in der Lage sind diese zu ersetzen.

Es gibt sehr viele alternative Kraftstoffe die in der Lage sind die fossilen zu ersetzen. Es zeigt sich aber, dass sich nicht jeder als geeignet erscheint. Für Deutschland kommen wohl eher Biomethan und BtL in Betracht, weil diese Treibstoffe hinsichtlich der Energiebilanz den höchsten Nutzen aufweisen. Auch werden beide nach Prognosen im Jahr 2030 in der Lage sein Diesel komplett zu ersetzen. Ihr Vorteil liegt in der problemlosen Verwendung in den heutigen Verbrennungsmotoren. In anderen Ländern hingegen nehmen diese Position Bioethanol (Brasilien) oder Palmöl (Malaysia, Indonesien) ein.

Betrachtet man aber Kraftstoffe die für ihre Erzeugung nur kleine Anbauflächen benötigen, so zeigt sich, dass Wasserstoff in der Landwirtschaft eine zukünftige Alternative zu fossilem Diesel sein kann und wohl auch sein wird. Er zeichnet sich lediglich durch ein hohes Maß an Bereitstellungsenergie für seine Herstellung aus. Sollten wir uns aber in Zukunft in der luxuriösen Situation befinden einen Überhang an Energie zu haben, stellt Wasserstoff ein hochwertiges Speichermedium dar.

Auch sollte man die Batterie als potentiellen Energiespeicher sehen. Der Betrieb von Elektrotraktoren würde mit dem heutigen Stand der Technik wohl auf Hofarbeiten beschränkt bleiben. Da es durch das hohe Eigengewicht eines solchen Traktors bei Feldarbeiten zu erheblichen Bodenverdichtungen kommen würde. Baut man einen Traktor mit einem geringen Gewicht würde die Reichweite für Feldarbeiten zu sehr eingeschränkt sein.

Aufgrund der beschränkten Anbaufläche wird Biodiesel und Pflanzenöl aus Raps in Deutschland nicht als flächendeckender Kraftstoff für den landwirtschaftlichen Bereich verwendet werden können. Auch gibt es technische Probleme beim ausschließlichen Betrieb mit Pflanzenöl, vor allem bei kälteren Temperaturen. Die Perspektiven für die Zukunft liegen wohl nur in der Bereitstellung für den Beimischungszwang im Kraftstoffsektor.

Wann die Landwirtschaft ohne fossilen Kraftstoff auskommen wird ist nicht abzusehen. Es bleibt also noch viel zu tun bis eine Unabhängigkeit vom konventionellen Diesel erreicht sein wird.

9 **Literaturverzeichnis**

Bauer, G.; Faszination Traktoren und Ernte; Landtechnik im Wandel der Zeit; DLG-Verlags-GmbH; 2007

Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten; 2003

Doenges, P.; Traulsen, H.; Felderprobung Rapsöl pur; DEULA Schleswig-Holstein GmbH; 2006

Gerath, H.; Kazemekas, D.; Geick, Th.; Bioethanol Erzeugung und Nutzung; Biokraftstoffe in Mecklenburg-Vorpommern; Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern Heft 35; 2005

Fritsche, R.; Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse; Ökologisches Institut e.V. in Zusammenarbeit mit weiteren Partnern; Darmstadt; 2004

Hartmann, H.; Kaltschmitt, M.; Biomasse als erneuerbarer Energieträger; Münster; Landwirtschaftsverlag GmbH; 2002

Kaltschmitt, M., Hartmann, H.; Energie aus Biomasse; Berlin u.a.; 2001

Karlsch, R.; Stokes, R. G.; "Faktor Öl" - Die Mineralölwirtschaft in Deutschland 1859 - 19; Verlag C.H. Beck München; 2003

Pieper, H.-J.; Biotechnologische Eigenschaften von Triticale für die Stärkehydrolyse und deren Bedeutung für die Ethanolproduktion; 1996

Puls, T.; Alternative Antriebe und Kraftstoffe: was bewegt das Auto von morgen; Deutscher Instituts-Verlag GmbH; 2006

Raggam, A.; Faißner, K.; Zukunft ohne Öl; Lösungen für Verkehr, Wärme und Strom; Leopold Stocker Verlag; 2008

Rosenberger, A.; Optimierung und Bewertung der Produktion von Getreidekorngut als Rohstoff für die Bioethanolerzeugung; Hohenheim; 2001

Schmitz, C.; Shaker; Zur Kinetik und zur verbesserten Reaktionsführung der hydrierenden Tiefentschwefelung von Dieselöl; Taschenbuch; Dezember 2003

Schmitz, N.; Bioethanol in Deutschland: Verwendung von Ethanol und Methanol; Schriftreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Band 21; Landwirtschaftsverlag GmbH; 2003

Schmitz, N.; Henke, J.; Klepper, G.; Biokraftstoffe: eine vergleichende Analyse ; 2006

Tack, F.; Maack, H.-H.; Gurgel, A.; Anbau, Erzeugung und Nutzung von Pflanzenölen unterschiedlicher Herkunft als Kraftstoff für Dieselmotoren; Rostocker Agrar- und Umweltwissenschaftliche Beiträge Heft8; Universität Rostock; 2000

Anbau 2008: Stilllegungsflächen halbiert Zunahme beim Getreide;01.08.2008; http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pm/2008/08/PD08_279_412.psml; (Stand 30.08.09)

Bewertung alternativer Treibstoffe und Antriebe; 01.09.2006; <http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/alternantrieb/kraftstoffe/altkraftst.htm>; (Stand 29.09.09)

Biodiesel oder Pflanzenöl?; <http://www.ee-direkt.de/pdf/biodiesel%20oder%20pflanzenoel%20-%20was%20ist%20die%20bessere%20treibstoffstrategie.pdf>; (Stand 14.09.09)

Biodiesel; <http://www.hydrogeit.de/biodiesel.htm>; (Stand 15.09.09)

Dieselmotoren; <http://de.wikipedia.org/wiki/Dieselmotoren>; (Stand 26.09.09)

Ernte 2008: mehr Ertrag, höhere Kosten; 21.08.2008; http://www.bauernverband.de/index.php?redid_219052; (Stand 10.08.09)

Ethanolherstellung aus stärkehaltigen Rohstoffen für Treibstoffzwecke; http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/_/H73/H733/pub/Biogas/2004_DA_Gangl.pdf; (Stand 14.09.09)

Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V.; <http://www.bio-kraftstoffe.info>; (Stand 15.09.09)

Getreide Anbaufläche in Europa: Wie viel mehr wirds sein?; 15.01.2008; http://www.terminmarktwelt.de/cgi-bin/nforum.pl?ST_62929&CP_0&F_68#newmsg; (Stand 10.08.09)

Nettopreise von 45 Cent für Superbenzin und Diesel: Deutschland ist ein Tankparadies aber nur ohne Steuern; 30.06.2009;
http://www.aral.de/aral/genericarticle.do?categoryId_4001111&contentId_7054318; (Stand 27.09.09)

Ökonomische Bewertung von Kulturfrüchten zur Ethanolherstellung in Deutschland;
<https://www.uni-hohenheim.de/i410b/download/gewisola/posters/putensen.pdf>;
(Stand 29.09.09)

Ölpreis fällt auf Fünf-Jahres-Tief; 15.01.2009;
<http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,601558,00.html>; (Stand 09.10.09)

Ölpreis überspringt 147 Dollar; NZZ Online; 11.07.2008;
http://www.nzz.ch/nachrichten/medien/oelpreis_ueberspringt_147_dollar_1.781772.html;
(Stand 10.08.09)

Schriftliche Stellungnahme zu der öffentlichen Anhörung des Finanzausschuss am 18.10.2006 zu dem von der Bundesregierung eingebrachten Entwurf eines Gesetzes zur Einführung einer Biokraftstoffquote (BioKraftQuG), BT-Drucksache 16/2709 bzw. 621/06
http://www.bundestag.de/bundestag/ausschuesse/a07/anhoerungen/2006/035/Stellungnahmen/12-Bundesverband_Pflanzen_le.pdf; (Stand 26.09.09)

Wasserstoff als Kraftstoff; http://www.energieportal24.de/fachberichte_artikel_18.htm;
(Stand 20.09.09)

Wirtschaftliche Vereinigung Zucker; Verein der Zuckerindustrie;
http://www.zuckerverbaende.de/2_1_5.html; (Stand 10.08.09)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dieserverbrauch nach Leistungen

Tabelle 2: Kraftstoffvergleich Eigenschaften von Biokraftstoffen

Tabelle 3: Stärken und Schwächen der stärkehaltigen Rohstoffe zur Ethanolherzeugung

Tabelle 4: Kosten für Pflanzenbetriebe Traktoren mit Eintanksystem

Tabelle 5: Preise für verschiedene Kraftstoffe

Tabelle 6: Energieertrag verschiedener Kraftstoffe

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Dieselverbrauch nach Leistungen

Abb. 2: Primärkraftstoffverbrauch Deutschland 2008

Abb. 3: Zelluloselieferanten

Abb. 4: Herstellungsprozess von BtL

Abb. 5: Wasserstoffaufbereitung

Abb. 6: Umesterung von Rapsöl zu Biodiesel

Abb. 7: Entwicklung Biodiesel-Produktion & -Absatz in Deutschland

Abb. 8: Ethanolherstellungskosten verschiedener Kulturfrüchte

Abb. 9: Preisvergleich Biokraftstoffe 2006

Abb. 10: Energie in MWh pro Jahr

Abb. 11: Biokraftstoffe im Vergleich

Abb. 12: Ersatzpotenzial von erneuerbaren Energien

Abb. 13: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland

Abb. 14: NH^{2TM}-Traktor von New Holland

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Dieslersatzpotenzial erneuerbarer Energien

Anlage 1: Dieseleratzpotenzial erneuerbarer Energien

alternativer Kraftstoff	Kraftstoffäquivalenz	Maximaler Ertrag	Dieseleratz	Ersatzpotenzial
Rapsöl	0,96 l	4.437.000.000 l	4.259.520.000 l	26,68%
Biodiesel	0,91 l	4.641.000.000 l	4.223.310.000 l	26,45%
BtL	0,97 l	15.717.000.000 l	15.245.490.000 l	95,48%
Bioethanol (Holz)	0,65 l	3.841.500.000 l	2.496.975.000 l	15,64%
Biomethan	1,4 kg	13.806.000.000 l	19.328.400.000 l	121,05%

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Bachelor-Studienarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, alle Ausführungen, die anderen Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, kenntlich gemacht sind und die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht Bestandteil einer Studien- oder Prüfungsleistung war.

Sebastian Arning